

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Análisis de Sistemas de Climatización con
EnergyPlus

Autor: José Fisas Jindra

Tutor: María del Mar Castilla Nieto

**Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Análisis de Sistemas de Climatización con EnergyPlus

Autor:
José Fisas Jindra

Tutor:
María del Mar Castilla Nieto

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Grado: Análisis de Sistemas de Climatización con EnergyPlus

Autor: José Fisas Jindra

Tutor: María del Mar Castilla Nieto

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

Este trabajo de fin de carrera lo dedico especialmente a M^a Rut Santana Mederos que es la persona que más me ha animado en seguir adelante en el día a día.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi tutora María del Mar Castilla Nieto por su gran ayuda en la realización de este trabajo, y su dedicación en favor de los demás.

También agradezco a todos los profesores que he tenido en el recorrido de mi formación por enseñarme a ver la realidad de una forma más clara, por darme un espíritu crítico, por motivar a cada uno a pensar, a meditar quién se es y a dónde va, por mostrarnos los distintos caminos que se pueden tomar, por darnos oportunidades, por permitirnos elegir y por su generosidad.

José Fisas Jindra

Sevilla, 2018

Resumen

A día de hoy se presenta una problemática a escala global. El efecto invernadero es un hecho palpable, algo que se debe tomar en cuenta en muchos ámbitos de nuestra vida cotidiana. Cualquiera de las actividades diarias realizadas por los seres humanos, están asociadas a un balance energético y la mayoría de veces conlleva la emisión de gases contaminantes o la evacuación de calor al ambiente. Todo ello conlleva la toma de una serie de medidas adecuadas.

Los sistemas de climatización son el primer elemento de consumo energético en la edificación y tomará más importancia según se consideren edificios residenciales, comerciales, educativos, o edificios de oficinas que son en los que se centra el presente trabajo.

Los edificios de oficinas son por excelencia los edificios en los que más se estudia cómo reducir el consumo por climatización ya que suelen ser edificios con altas cargas: internas y externas. La propia epidermis del edificio hace que la demanda energética sea más alta, por lo cual es necesario buscar múltiples estrategias para su reducción, en la medida de lo posible.

A su vez, es posible aplicar un sistema de control que incida sobre las cargas del local en condiciones variables, la ventilación en función de la ocupación, el uso de elementos de sombra móviles, las condiciones de confort y el uso eficiente de los recursos.

Para afrontar las cargas del edificio se puede disponer de alguna instalación auxiliar de apoyo. El uso de las energías renovables toma un papel decisivo en este punto ya que su mayor o menor integración con el edificio será la que marque un ahorro más significativo. A día de hoy, las tecnologías más usadas son: la fotovoltaica, la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), las máquinas de absorción y adsorción y otros sistemas combinados.

La tendencia actual es reducir el consumo, reducir la demanda y aprovechar las fuentes de energía renovables para que los edificios sean energéticamente más eficientes.

En esta línea, se prevee para un horizonte a medio plazo, que los edificios de nueva construcción sean autosuficientes y sostenibles en sí mismos.

Abstract

Nowadays there is a problem in a global scale. The greenhouse effect is a palpable fact, something that should be considered in many aspects of our daily life. Each one of the daily activities developed by human beings is associated to an energetic balance and, in most cases, it entails polluting emissions and heat transfer to the environment. For these reasons, it is necessary to apply adequate measures.

Heating-Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) systems are the principal of energy consuming elements within the building sector and they take more importance as a function of the building type, that is, residential buildings, comercial, schools, or office buildings. More in detail, this diploma thesis focuses on the case of office buildings.

Office buildings are carefully analysed in order to reduce HVAC systems energy consumption. To do that, it is necessary to consider that office buildings ave high loads: internal and external. Moreover, the building envelop design makes the energetical demand be higher and, for that reason, multiple strategies are sought for its reduction, as far as possible.

Simultaneously, it is possible to develop appropriate control systems wich take into account space loads under variable conditions, ventilation rates as a function of the occupation, use of mobile-shadow-elements, users' comfort conditions and an efficient use of resources.

To confront the building loads some auxiliary installation can be used. In addition, the use of renewable energies takes a decisive role in this point since their integration within the building will indicate the amount of energy saving. Nowadays, the most used technologies are: photovoltaics, hot water production, adsorption and adsorption machines, and other combined systems.

Current trends try to reduce energy consumption and the energy demand. In addition, to increase the integration of renewable energy sources in order to make more efficient buildings.

In this line, the mid-term horizon is to have self-sufficient and sustainable new-construction buildings.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	23
1.1 Estado actual del consumo energético en la edificación	23
1.2 Objeto del proyecto	25
1.3 Alcance	25
1.4 OpenStudio	26
1.5 Entorno de trabajo	27
1.6 EnergyPlus como motor de cálculo	29
2 El edificio	31
2.1 Ubicación del edificio	31
2.2 Descripción arquitectónica	32
2.3 Características constructivas	34
2.4 Descripción de ocupación y horarios	35
2.5 Descripción de los sistemas energéticos	35
2.5.1 Sistema de climatización	36
2.5.2 Sistema de iluminación	37
2.5.3 Equipamiento	38
2.5.4 Ocupación, radiación e infiltración	39
3 Metodología	41
3.1 Toma de datos	41
3.2 Análisis energético preliminar	41
3.3 Propuestas de mejora	42
4 Desarrollo en OpenStudio	43
4.1 Modelado en SketchUp	43
4.1.1 Creación de espacios	43
4.1.2 Caracterización de los espacios	45
4.1.3 Entorno del edificio	46
4.2 Emplazamiento y datos meteorológicos	47
4.3 Horarios	48
4.4 Construcciones y Materiales	50
4.5 Cargas	52
4.6 Tipos de Espacio	54
4.7 Instalaciones	55
4.8 Espacios	56
4.9 Zonas Térmicas	57

4.10 Sistema de climatización real	58
4.11 Variables de salida, configuración de simulación y medidas a adoptar	61
5 Simulación y resultados	63
5.1 Resultados para el edificio real	64
5.1.1 Distribución de consumos	64
5.1.2 Origen de los recursos energéticos	66
5.1.3 Consumo mensual	66
5.1.4 Picos de demanda	66
5.1.5 Consumo del sistema de climatización	67
5.1.6 Condiciones de temperatura	68
5.1.7 Ventilación	70
5.1.8 Sombras	71
6 Propuestas de mejora	73
6.1 Actuación sobre la humedad	73
6.2 Instalación de refrigeración solar	76
6.3 Sustitución de la iluminación existente por tecnología LED	79
6.4 Ahorro económico anual	81
7 Conclusiones y futuros trabajos	83
7.1 Conclusiones	83
7.2 Futuros trabajos	84
Anexos	85
Características generales	85
Características de los equipos de climatización	86
Horarios	87
Planos	89
Bibliografía	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de superficies	33
Tabla 2: Cargas de iluminación por plantas	37
Tabla 3: Cargas de equipamiento por plantas	38
Tabla 4: Cargas de equipamiento en Planta Tipo	38
Tabla 5: Cargas de equipamiento en Planta Baja	39
Tabla 6: Datos de ubicación	47
Tabla 7: Definición de componentes y materiales	51
Tabla 8: Cargas por ocupación	52
Tabla 9: Cargas por iluminación	52
Tabla 10: Cargas por equipamiento	53
Tabla 11: Porcentaje radiativo y convectivo del equipamiento	53
Tabla 12: Unidades VRV instaladas en una planta	59
Tabla 13: Unidades interiores VRV y potencias para una planta	59
Tabla 14: Unidades VRV para todo el edificio	60
Tabla 15: Información general del edificio	64
Tabla 16: Consumo anual en función de la tecnología	65
Tabla 17: Uso final de la energía	66
Tabla 18: Picos de demanda para el edificio real	67
Tabla 19: Distribución de temperaturas	68
Tabla 20: Ventilación de las zonas térmicas	70
Tabla 21: Sombreado en ventanas	71
Tabla 22: Distribución de humedad	73
Tabla 23: Uso final de la energía en el edificio con refrigeración solar	77
Tabla 24: Picos de demanda para el edificio con refrigeración solar	78
Tabla 25: Picos de demanda para el edificio con iluminación LED	80
Tabla 26: Uso final de la energía con iluminación LED	80
Tabla 27: Características de las Zonas Térmicas	85
Tabla 28: Superficie construida	85
Tabla 29: Equipos de climatización existentes	86
Tabla 30: Potencia Humidificadores	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo por servicios, sector terciario, España – 2012 (Fuente: IDAE)	24
Figura 2: Edificio Picasso	26
Figura 3: Concepto de OpenStudio	26
Figura 4: Entorno de trabajo de OpenStudio	28
Figura 5: Logo de EnergyPlus	29
Figura 6: Emplazamiento del edificio en Google Maps	31
Figura 7: Vista conceptual del edificio	32
Figura 8: Plano de la distribución de espacios de una planta tipo	33
Figura 9: Detalles constructivos	34
Figura 10: Sistema de climatización tipo VRV	36
Figura 11: Creación de espacios en SketchUp	44
Figura 12: Planta Tipo	44
Figura 13: Surface Matching	45
Figura 14: Entorno del Edificio Picasso	46
Figura 15: Definición de ocupación – Tipo Fracción	48
Figura 16: Temperatura de consigna de refrigeración y de calefacción	49
Figura 17: Definición de Iluminación y Equipamiento – Tipo Fracción	49
Figura 18: Definición de prioridades	49
Figura 19: Materiales empleados en un componente	50
Figura 20: Tipos de Espacio	54
Figura 21: Cargas por tipo de espacio	54
Figura 22: Sombreado por elementos externos	55
Figura 23: Definición de sombras	56
Figura 24: Sombreado automático en ventanas	56
Figura 25: Separación por Zonas Térmicas	57
Figura 26: Plantillas de sistemas de climatización	58
Figura 27: Caracterización del sistema VRF	60
Figura 28: Remove orphan objects and unused resources	62
Figura 29: Simulación en OpenStudio	63
Figura 30: Distribución de consumos en el edificio real	64
Figura 31: Ubicación energética del Edificio Picasso	65
Figura 32: Consumo en kWh por tecnología	66
Figura 33: Picos de demanda en kW por tecnología	67
Figura 34: Perfiles de carga del sistema de climatización	68

Figura 35: Condiciones internas de temperatura en invierno	69
Figura 36: Condiciones internas de temperatura en verano	70
Figura 37: Humidificación al 35%	74
Figura 38: Deshumidificación al 60%	74
Figura 39: Consumo añadido por equipos de humedad	75
Figura 40: Potencia añadida debida a equipos de humedad	75
Figura 41: Lazo de captadores – máquina de absorción	76
Figura 42: Lazo de máquina de absorción – serpentines	76
Figura 43: Consumo con sistema de refrigeración solar	77
Figura 50: Perfil de carga con refrigeración solar	78
Figura 51: Perfil de carga con iluminación LED	81
Figura 44: Horario Equipamiento	87
Figura 45: Horario Iluminación	87
Figura 46: Horario Ocupación	87
Figura 47: Horario Sombras	87
Figura 48: Consigna de climatización	87

1 INTRODUCCIÓN

*La ingeniería está en todas partes: el arte, la música,
el ambiente que nos rodea... y en la vida misma;
aprendamos de ella.*

José Fisas

1.1 Estado actual del consumo energético en la edificación

Desde el inicio de la historia, el ser humano ha estado ligado a la necesidad de fuentes de energía para poder subsistir y luego para satisfacer sus necesidades. A través de los años esta necesidad ha ido creciendo y ha sido después de la Revolución Industrial cuando este crecimiento se ha visto más acusado. El descubrimiento del petróleo fue otro estímulo para el crecimiento económico de la población, pero eso conllevaba la contaminación del medio ambiente. A día de hoy no solamente se fija el objetivo en sustituir las energías procedentes de combustibles fósiles por energías renovables sino que, además, se trabaja en la línea de la reducción del consumo energético. [8]

Esta reducción en el consumo se debe dar en todos los sectores económicos y en especial en el sector de la edificación, ya que a nivel mundial representa aproximadamente el 30% del consumo final de energía, por encima del sector transporte con un 27% y de la industria con un 28%. (Fuente: IEA 2010 [19]) A nivel europeo esta diferencia es más acusada, la edificación se lleva el 40%, el transporte el 32% y la industria el 25%. (Fuente: Eurostat 2014 [17])

En el caso de España, la distribución de consumo de energía final se da de la siguiente forma: sector transporte 42,3%, sector industrial 23% y usos diversos 34,7% [21]. Dentro del sector de usos diversos, el consumo en el sector de la edificación representa el 31,2%, del cual, el 12,9% corresponde al sector servicios. (Fuente: IDAE 2016 [18])

Con estos valores se puede considerar que el consumo en edificios de oficinas es lo bastante importante como para tomarlo en cuenta y adoptar una serie de medidas al respecto. Además si se le añade que la población mundial va en aumento y que se seguirán construyendo más edificios que, aunque estén muy bien diseñados, siempre tendrán algún consumo asociado. Por lo tanto el consumo derivado de edificios seguirá aumentando. Más concretamente, si nos centramos en edificios de oficinas, se puede observar que éstos tienen unas características bien distintas al resto de edificios y es la característica de la envolvente. La mayoría de estos edificios tienen la fachada completamente de cristal lo que hace que sean edificios con poca inercia térmica o lo que es lo mismo, que sus coeficientes de transmisión de calor sean muy elevados. Esto los convierte en edificios poco eficientes desde un punto de vista energético y aunque se toman medidas como el diseño de edificios con fachadas de doble y triple cristal, con cámara de aire e incluso con cristales fotosensibles. Sin

embargo estas estrategias están bastante alejadas de los muros gruesos de hormigón que son los que tienen mayor inercia y hacen de mejor aislante, y por lo tanto, siempre hay margen de mejora. Por otro lado resulta evidente que hoy en día, nadie diseñará un edificio de oficinas con las paredes completamente de hormigón, principalmente por una cuestión estética y de impacto visual. Todos estos conceptos deben considerarse bajo ciertas condiciones climatológicas, dado que puede ser favorable un acristalamiento mayor en edificios de países nórdicos gracias a las ganancias solares, a diferencia de los países del sur de Europa. Para todo ello habría que realizar un análisis energético, ya que un mismo edificio en dos localidades distintas, se comportará de manera distinta. Todo ello implica que para un caso quizás convenga más acristalamiento y para otro más aislante. Todos estos conceptos y condiciones son los que marcan que el consumo más alto se dé en la climatización del edificio. En la Figura 1 se puede observar la distribución de las diferentes cargas en un edificio de oficinas estándar [16]:

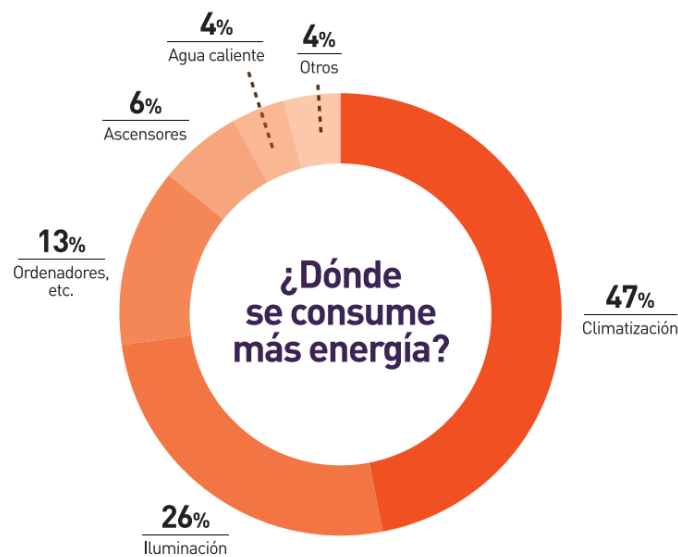


Figura 1: Consumo por servicios, sector terciario, España – 2012 (Fuente: IDAE)

De acuerdo con la figura anterior, se puede observar como el uso de sistemas de climatización representa aproximadamente el 47% del consumo total, por lo que este tipo de sistemas deben estudiarse de forma detallada para reducir el consumo de energía en edificios.

Por lo tanto, el presente trabajo se centra en el análisis del consumo de sistemas de climatización en un edificio utilizando una herramienta de simulación.

1.2 Objeto del proyecto

Este trabajo tiene como objetivo principal el análisis del rendimiento de un sistema de climatización en un edificio ya existente. Los puntos principales de este trabajo serán los siguientes:

- Modelado del edificio a partir de distintos planos del edificio, tanto planos de planta de los diferentes niveles del edificio como secciones del edificio. El modelado se ha realizado mediante la herramienta de dibujo Sketchup [4].
- Para la caracterización del modelo, los materiales de construcción, las características del entorno, coordenadas geográficas y todas las cargas internas y externas del local, etc. Se han establecido mediante el programa de simulación OpenStudio [1] que usa como motor de cálculo EnergyPlus [2].
- Una vez simulado el edificio, se ha realizado un análisis en profundidad, empleando medidas de control [10] [11]. Para ello, se ha incidido sobre diferentes medidas de control en los sistemas de climatización como son; el funcionamiento a carga parcial, la ventilación según la ocupación, la posibilidad de uso de elementos de sombra móviles y otros aspectos. Todo ello para unas condiciones de confort dadas.
- Finalmente se ha dimensionado un sistema de aprovechamiento de la energía solar para el apoyo del sistema de climatización y se ha buscado un punto de funcionamiento óptimo.

1.3 Alcance

El alcance de este proyecto se ajustará a los criterios de diseño del sistema de climatización. Por ello, una vez que se ha modelado la geometría del edificio, se ha caracterizado:

- Primeramente se ha indicado su ubicación geográfica y luego se han añadido todas las propiedades que conforman la envolvente del edificio y las particiones interiores. Para ello, se han definido unos materiales, con sus características térmicas y disponerlos para cada tipo de construcción.
- En segundo lugar, se han definido las cargas internas del local, que principalmente van a ser de tres tipos: ocupación, iluminación y equipamiento. Para la ocupación se considerarán [personas/m²] y para iluminación y equipamiento las cargas se medirán en [W/m²]
- A continuación, se han definido unos horarios que definirán el uso horario de diferentes parámetros; se definirán horarios de tipo fraccional, ON/OFF y temperatura entre otros.
- Seguidamente se ha implementado un sistema de climatización que contempla diferentes variantes de modo que se pueda analizar el comportamiento del sistema. Más detalladamente se ha incidido precisamente en el aprovechamiento de la energía solar para suplir la demanda del edificio y se ha estudiado la viabilidad de su uso tanto para refrigeración como para calefacción. Se han definido una serie de controladores internos al sistema de forma que los locales se encuentren en estado de confort tanto en temperatura como en humedad.

- Para reducir el consumo de nuestro sistema se ha considerado la instalación de recuperadores de calor a la salida de la toma de aire del exterior y se ha analizado la posibilidad del uso de control de la ventilación mediante la medida de la concentración de CO₂ en la corriente de aire de la salida para reducir también el consumo [7]. Además con los elementos de sombreado en las ventanas, podremos reducir la demanda de refrigeración de los locales cuando la radiación sea elevada, especialmente en verano.



Figura 2: Edificio Picasso

1.4 OpenStudio

OpenStudio [1] es una plataforma gratuita desarrollada por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) y el departamento de Energía de los Estados Unidos. El objetivo de OpenStudio es ayudar a los propietarios de los edificios, arquitectos, diseñadores, ingenieros y otros involucrados en el proceso de diseño de edificios para hacerlos más eficientes.

La aplicación tiene como línea de trabajo, el diseño, la simulación y el análisis de edificios. Esto permite una retro-alimentación sobre el diseño teniendo en cuenta las decisiones energéticas adoptadas y otros parámetros como requisitos del programa, costes, entre otros. La plataforma de OpenStudio, permite un rápido acercamiento para investigadores y desarrolladores ya que su código se realiza en lenguajes como C++, C#, o Ruby, los cuales están muy extendidos. Todo ello se ve plasmado en su motor de cálculo, el cual es EnergyPlus.

Además, existe un acoplamiento entre la herramienta de diseño gráfico y la de simulación energética, gracias al Plug-in desarrollado para Google Sketchup, se nos facilita más el diseño y su visualización en un entorno 3D.



Figura 3: Concepto de OpenStudio

Aparte de OpenStudio, existen otras herramientas para la simulación energética de edificios, como puede ser la herramienta unificada LIDER-CALENER, también conocida como HULC [14]. Su principio de funcionamiento es muy parecido al de OpenStudio y está dirigido al análisis energético de edificios, principalmente durante el diseño arquitectónico para evaluar la normativa de consumo energético. También se aplica a edificios de nueva construcción o edificios existentes.

Otro programa es DesignBuilder, que al igual que OpenStudio, está dirigido al análisis y optimización de edificios. Permite realizar simulaciones dinámicas del comportamiento térmico de los mismos, bien sólo con soluciones pasivas o con determinados sistemas de climatización. Además, su motor de cálculo también es EnergyPlus.

Cypetherm es otro programa que permite el análisis energético de edificios. Este programa, que pertenece a Cype, tiene una amplia gama de posibilidades. Gracias a las distintas aplicaciones desarrolladas, se puede seguir todo un proceso de caracterización energética de los edificios. En primer lugar está IFC Builder, una aplicación para la definición geométrica del edificio. El modelo se genera en formato BIM (Building Information Model) y a partir de éste, se prosigue con las siguientes aplicaciones que son Cypetherm LOADS y Cypetherm HVAC, en las cuales se definen los elementos constructivos y los sistemas de climatización respectivamente. Además, como último paso, podemos realizar una calificación energética del edificio gracias a Cypetherm HE Plus, el cual está comprendido en el marco normativo desde el 5 de Julio de 2018 al igual que sucede con CE3X.

Para el caso de OpenStudio, también cabe la posibilidad de considerarlo como un programa para la certificación energética, gracias a SGSave, un complemento que toma los resultados de la simulación de OpenStudio y los aplica para la verificación de la normativa en edificios.

Se ha escogido OpenStudio entre los programas existentes por tratarse de un programa gratuito con una interfaz de trabajo intuitiva y ordenada. Se ha escogido este programa frente a HULC porque se trata de un entorno más moderno, manejable y actualizado, teniendo como ventajas su acoplo con Sketchup, su motor de cálculo más actualizado y la calidad de sus informes.

Se ha descartado la utilización de DesignBuilder por tratarse de un programa sofisticado y especializado. La elección de OpenStudio en este caso viene dada por la simplificación de la introducción de los datos necesarios. Tampoco se ha elegido Cypetherm por la complejidad de la definición de los sistemas de climatización, dado que en OpenStudio se permite una introducción simplificada de dichos sistemas.

1.5 Entorno de trabajo

El entorno de trabajo de OpenStudio está preparado de manera que se pueda trabajar con él de una forma clara y ordenada. A la izquierda de la pantalla, disponemos de varias pestañas que nos indican el proceso a seguir para una buena definición de nuestro caso de estudio. Las pestañas se ordenan de la siguiente forma:

- Emplazamiento y datos meteorológicos.

- Horarios.
- Definición de construcciones y materiales.
- Cargas.
- Tipos de espacio.
- Características del edificio, sombreado y equipamiento exterior.
- Definición de espacios.
- Definición de zonas térmicas.
- Definición de los sistemas de climatización y agua caliente.
- Variables de salida.
- Ajustes de simulación.
- Medidas a tomar.
- Ejecución de la simulación.
- Visor de resultados.

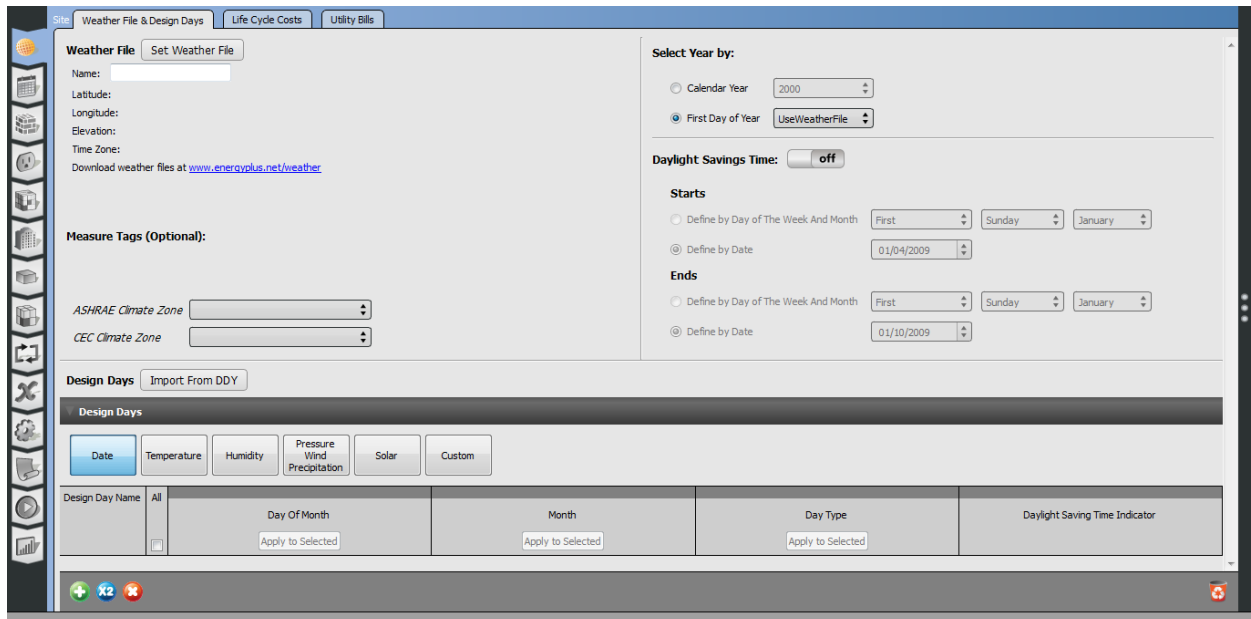


Figura 4: Entorno de trabajo de OpenStudio

Una vez que se han introducido todos los datos y se ejecuta la simulación, entra en juego el motor de cálculo: EnergyPlus.

1.6 EnergyPlus como motor de cálculo

EnergyPlus [2] es una herramienta desarrollada por el departamento de Energía de los Estados Unidos para la simulación térmica y energética de edificios enteros. Ésta herramienta va dirigida a ingenieros, arquitectos e investigadores del ámbito del consumo energético. Las tecnologías en la que se centra éste software son principalmente la refrigeración, la calefacción, la ventilación, la iluminación y las cargas internas, así como el consumo de agua en los edificios.

Algunas de las últimas novedades que presenta la última versión de EnergyPlus son las siguientes:

- Solución simultánea integrada.
- Solución basada en balance de calor.
- Sistemas combinados de transmisión de calor y materia.
- Cálculos de iluminación y deslumbramiento.
- Amplio número de estrategias de control en climatización e iluminación.

Ésta herramienta está completamente integrada en OpenStudio, de manera que cualquier dato, característica o proceso, es visto por los dos programas al mismo tiempo.

Gracias a éste potente motor de cálculo se pueden realizar estudios de consumo, reducción de la demanda, diseño térmico del edificio o eficiencia energética entre otros. Tanto es así que es una de las pocas herramientas que se usan para diferentes certificaciones, como pueden ser LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) o PASSIVE HOUSE entre otros. Además, como se comentó anteriormente, también se puede utilizar OpenStudio para la certificación energética de edificios mediante la extensión de SGSave. Y no solamente es EnergyPlus el motor de cálculo de OpenStudio, también lo es de otros programas como CYPETHERM, el cual también puede ser utilizado para la certificación energética.



Figura 5: Logo de EnergyPlus

2 EL EDIFICIO

En este capítulo se describen las características que componen nuestro caso de estudio. El edificio objeto está ubicado en la calle Picasso, Sevilla, y pertenece a la Junta de Andalucía. Formalmente el edificio pertenece a la Consejería de Fomento y Vivienda. La información ha sido extraída del documento de presentación del Proyecto del Edificio de Oficinas para la Consejería de Fomento y Vivienda, realizado por Cruz y Ortiz Arquitectos.

2.1 Ubicación del edificio

El edificio de oficinas de la Junta, está situado en la calle Picasso, s/n, por debajo de la estación de trenes de Santa Justa, Sevilla.

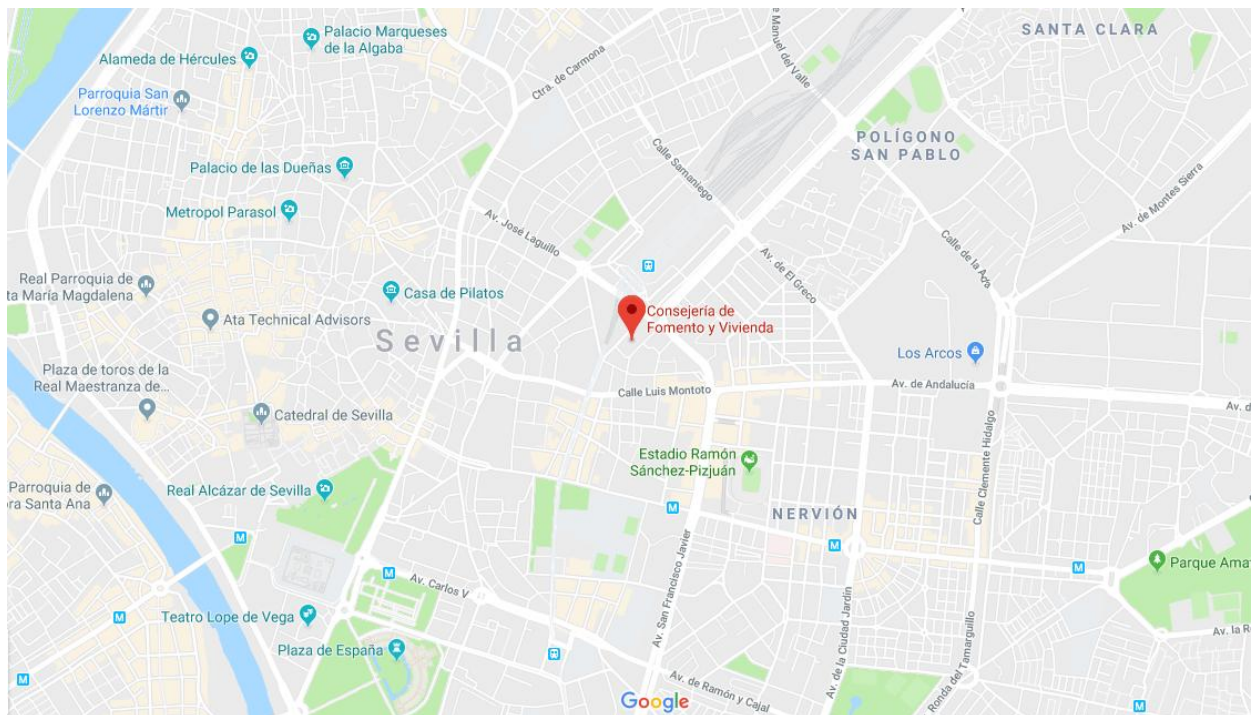


Figura 6: Emplazamiento del edificio en Google Maps

El edificio se encuentra en una zona donde por un lado tiene edificios de su misma altura y por el otro no tiene o la sombra que proyectan sobre él, no es significativa. Estos aspectos habrá que tenerlos en cuenta a la hora de definir las condiciones de contorno, que en este caso se traducirán en sombras sobre nuestra fachada.

La construcción se alza de manera independiente, de manera que no está en contacto con otras construcciones, por lo que en este aspecto, no será necesario definir las características térmicas de los edificios colindantes. El edificio se ve delimitado por las calles Picasso, Pascual González, Concejal Francisco Ballesteros y por un espacio cerrado al tráfico.

2.2 Descripción arquitectónica

El Edificio Picasso, como se identificará de ahora en adelante, tiene además un curioso diseño, que lo hace atractivo estéticamente y además juega con la orientación de las distintas alas que lo conforman, que combinado con la desviación de 45° que tiene respecto al norte, hace que el edificio sea un caso especial de estudio por la formación de sombras que se proyectan en una fachada sobre la otra. El edificio puede ser visto como una doble Y, una invertida respecto de la otra, y la nave central que no cruza perpendicular a la planta del edificio sino que lo hace levemente en diagonal.

Esta configuración presenta muchas ventajas ya que evita una radiación solar excesiva en las distintas zonas del edificio a lo largo del día, si bien, se aprovecha la luz de la parte que no le da el sol. El espacio del terreno se aprovecha mejor, se aprovecha la sombra para la reducción de la refrigeración, no es agobiante en cuanto a posibles sensaciones de encerramiento ya que desde todas las ventanas se puede ver la calle y alrededores y no un patio interior.

Al ser un edificio terminado de construir en el 2015, ha estado diseñado con los requerimientos establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y todos sus documentos derivados, lo cual implica que se han considerado las medidas de ahorro energéticas aplicables a los edificios de oficinas [23].

El edificio consta de 8 plantas y 4 niveles de sótano. La planta baja se destina a la recepción y la restauración, así como otros usos menos importantes. El resto de las plantas (2-7), se dedican a labores administrativas principalmente y los 4 niveles de sótano se emplean para aparcamiento de los usuarios del edificio.

Por encima de la octava planta se encuentra un espacio cubierto donde se encuentran instalados los sistemas de climatización. Todo ello queda bajo un tejado a dos aguas hacía dentro y las paredes del mismo permiten la ventilación completa con el exterior.

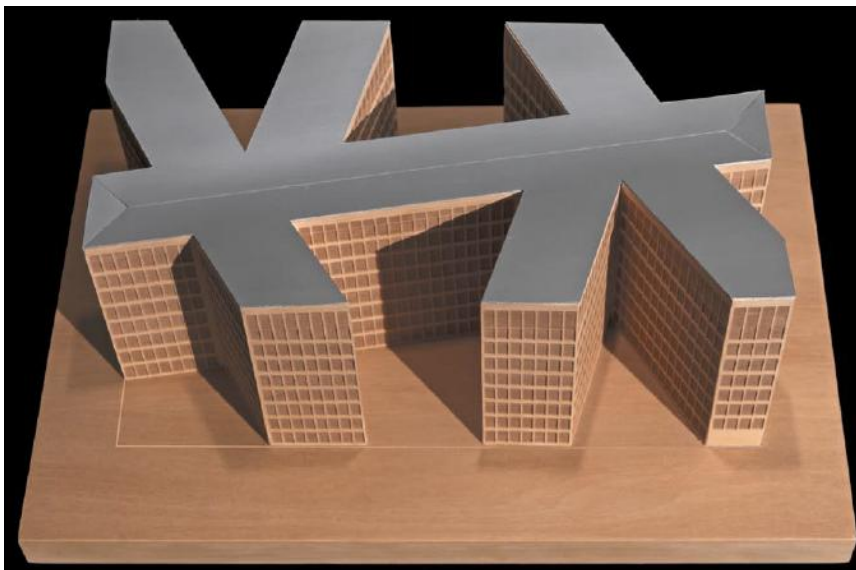


Figura 7: Vista conceptual del edificio

La siguiente tabla muestra la distribución de superficies con las que cuenta la propiedad, en la que no se tiene en cuenta para el cómputo total, el solar que rodea el edificio.

Distribución de superficies	
Planta baja	2.810,8 m ²
Plantas 2 - 8	7 x 2.810,8 m ²
Parking	4 x 4726,5 m ²
Solar	4.727 m ²
Total construido:	41.393 m²

Tabla 1: Distribución de superficies

Como hemos indicado anteriormente, todas las plantas del edificio se alzan sobre una misma base, por lo que todas tienen la misma superficie. Además, el edificio presenta anti-simetría con respecto al eje de la nave central por lo que lo que tenemos en la esquina de un lado, se ve reflejado en la esquina opuesta del otro lado. Este hecho facilita su modelado en el ordenador ya que las características constructivas de ambos lados son las mismas. En la figura 8 se puede observar la distribución interior de una planta tipo del edificio:

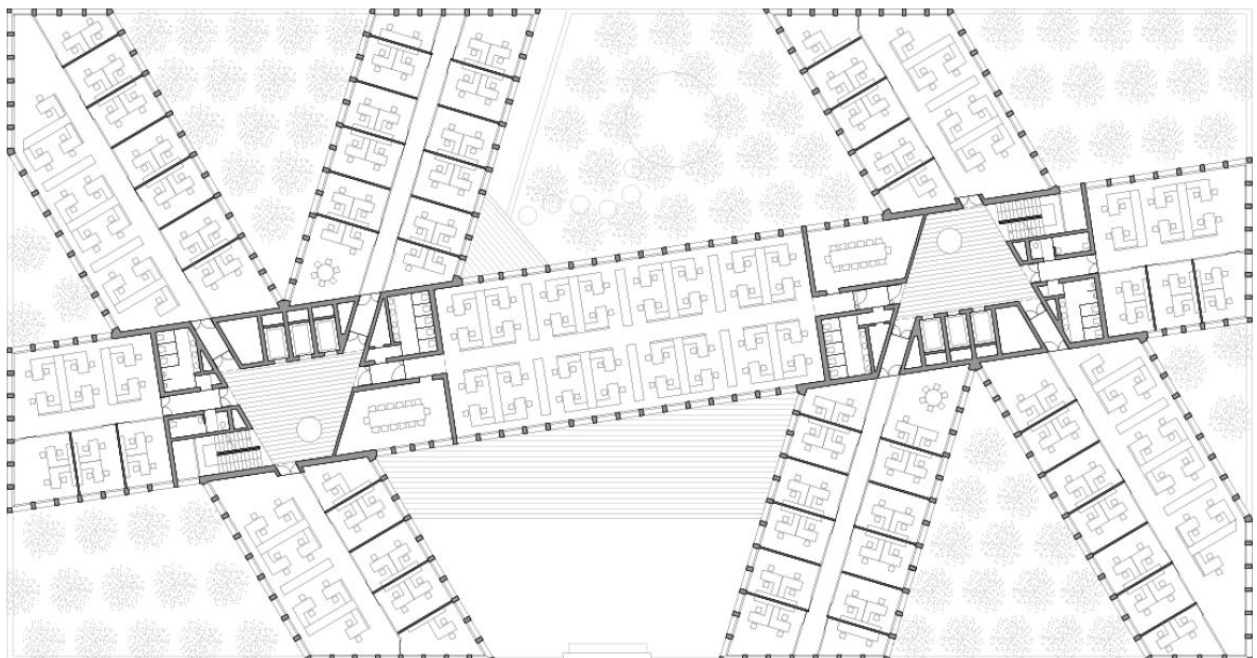


Figura 8: Plano de la distribución de espacios de una planta tipo

En el plano anterior, se puede apreciar como la mayoría de los espacios de los que consta una planta tipo, están destinados al uso administrativo, quedando otros espacios destinados a conferencias, baños, almacenamiento, ascensores y escaleras.

Como se puede observar, la envolvente del edificio se caracteriza por estar constituida de ventanas principalmente, lo cual hace que la radiación solar penetre con facilidad en los espacios interiores.

2.3 Características constructivas

Como se ha comentado anteriormente, el edificio está constituido por ventanas principalmente, lo cual hace que el edificio tenga poca inercia térmica, por lo que no es capaz de mantener por sí mismo el frío en verano, o el calor en invierno. Aunque se trate de ahorro energético, y de conducir los edificios nuevos a un escenario de consumo cero, esto se complica mucho en edificios de oficinas, en los que la mayoría son ventanas, que no se pueden comparar con otros tipos de edificio en los que hay amplios muros, pocas ventanas y un aislamiento completo. En el caso del Edificio Picasso, esto no es una solución y tenemos que buscar un equilibrio entre las ganancias exteriores y el nivel de aislamiento de la envolvente.

La propuesta que se da en este edificio es la siguiente; instalar ventanas dobles, una exterior fija y una interior abatible, y entre ambas poner una persiana enrollable para evitar unas ganancias excesivas de calor en verano.

En la siguiente figura se muestran los distintos elementos constructivos que componen la envolvente del edificio:

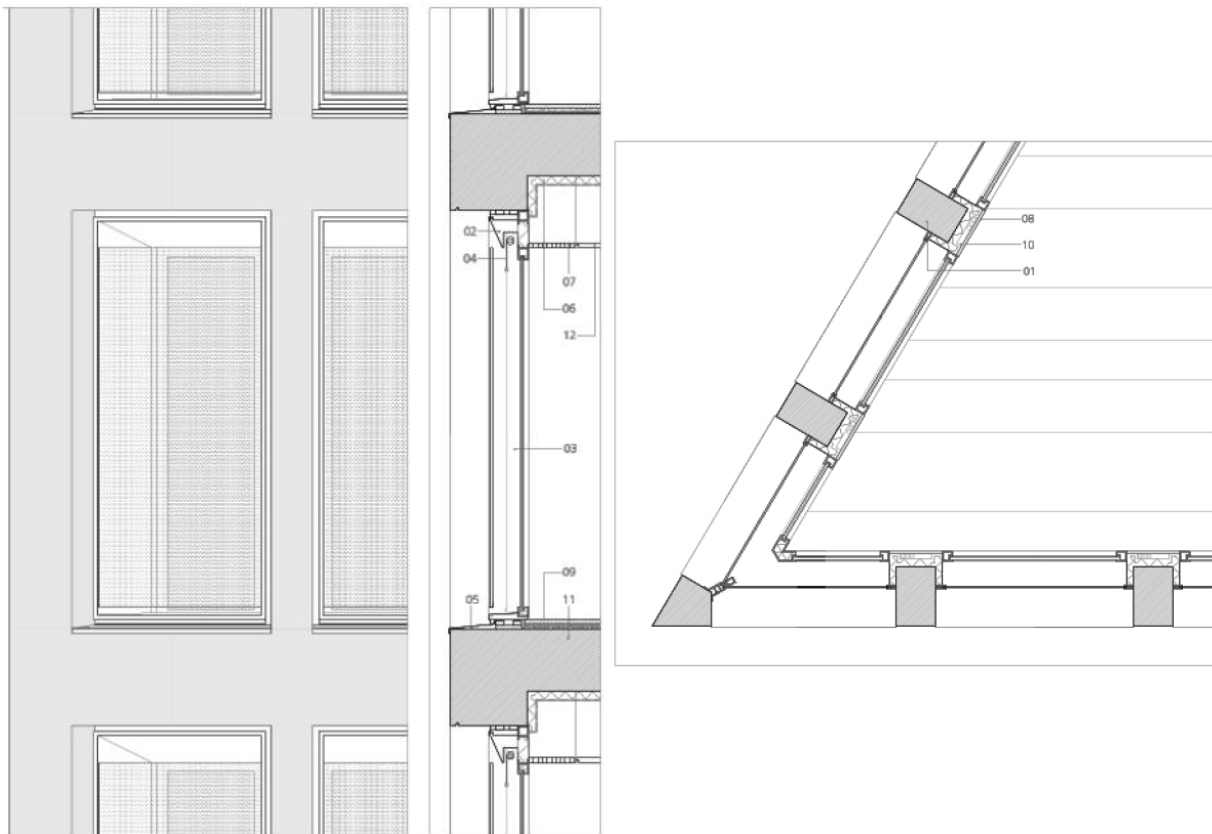


Figura 9: Detalles constructivos

- 01 Estructura de hormigón armado.
- 02 Chapa de aluminio, e = 3 mm.
- 03 Carpintería compuesta por interior abatible y exterior fija.
- 04 Persiana enrollable de tejido tipo kamp sunscreen, de recogida automática.
- 05 Remate vierteaguas de aluminio, e = 3 mm.
- 06 Aislamiento de poliestireno extrusionado autoadherente, e = 60 mm.

- 07 Difusor lineal con plenum (impulsión).
- 08 Revestimiento interior de pilares de fachada.
- 09 Pavimento de piedra natural en formatos según despiece.
- 10 Trasdosado equipado.
- 11 Forjado postesado, $e = 30 + 12$ cm.
- 12 Falso techo de viruta prensada.

Además, para las particiones interiores, se considerará que son paredes compuestas de placa de yeso, cámara de aire y placa de yeso. Para otros espacios como son los baños, tendremos pared de ladrillo, cubierto por azulejos

2.4 Descripción de ocupación y horarios

Tal y como se viene diciendo, el edificio está destinado al uso administrativo, esto engloba las plantas 2 hasta la 8. Sin embargo la planta baja funcionará con horario distinto ya que su uso principal es el de restauración.

Se han distinguido varios horarios, los cuales se han utilizado como de entrada de información para OpenStudio:

- Horario 1 de oficinas: De 8:00 a 14:00 y de 15:00 a 20:30.
- Horario 2 de oficinas: De 8:00 a 14:00 y de 15:00 a 17:00.
- Horario general: De 7:00 a 21:00.
- Horario cafetería: De 7:00 a 8:00 y de 13:30 a 15:00.

La ocupación se ha tomado teniendo en cuenta el máximo número de personas que es capaz de albergar cada espacio aplicándole un factor de ocupación variable a lo largo del día, de modo que no durante todas las horas que una oficina esté operativa, se tendrá ocupación máxima. La capacidad máxima de ocupación del edificio es de 3000 personas aproximadamente. Cada planta de oficinas tiene 394 puestos de trabajo.

En el Anexo Horarios y en la sección 4.3 se detallan más definiciones de horarios, los cuales sirven como variables de entrada de OpenStudio. En ellos se ha diferenciado entre horario de verano y horario de invierno, los horarios por cada tipo de espacio y la ocupación en cada momento del día.

2.5 Descripción de los sistemas energéticos

El Edificio Picasso tiene como fuente principal de abastecimiento de energía la energía eléctrica, por lo que no tiene ningún consumo derivado de combustibles fósiles. En todo caso, como propuesta de mejora, se ha dimensionado un equipo de aprovechamiento de energía solar para la climatización. Actualmente los sistemas energéticos que encontramos en el edificio son los siguientes:

- Climatización (Frío, Calor y Ventilación)
- Iluminación.
- Equipamiento

2.5.1 Sistema de climatización

El sistema de climatización instalado en el edificio consta de 10 tipos de unidades interiores de tecnología VRV (Variable Refrigerant Volume) de la marca DAIKIN. Sus potencias están comprendidas entre 0,11 y 1,465 kW eléctricos pudiendo cubrir una demanda de frío de 2,2 a 28 kW térmicos y una demanda de calor de 2,5 a 31,5 kW térmicos.

Además por cada planta se tienen 6 recuperadores entálpicos y su rendimiento de recuperación se encuentra entre el 58 y el 61% para refrigeración y entre el 62 y el 66 % para calefacción. De este modo se puede recuperar la energía de los flujos de aire de salida cediendo su energía al flujo de entrada.

Por otra parte también se dispone de 3 módulos de recuperación, compuertas y reguladores, lo cual se detallará en el Anexo.

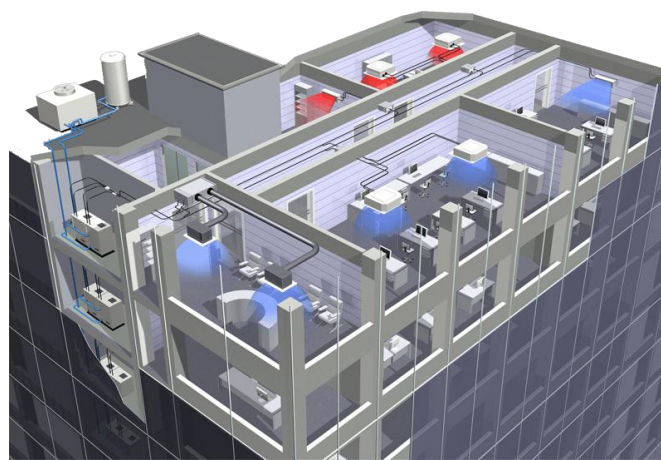


Figura 10: Sistema de climatización tipo VRV

2.5.1.1 Definición de sistema VRV

El sistema de climatización VRV (Variable Refrigerant Volume) es una tecnología relativamente nueva, desarrollada por Daikin. Los nuevos sistemas VRV ofrecen altos niveles de eficiencia energética, así como flexibilidad de operación. Estos sistemas proveen para el usuario el control de las temperaturas de los locales.

Mientras que los sistemas de climatización tradicionales están, a menudo, limitados por una unidad de condensación, un compresor y un evaporador, un sistema VRV puede ser designado específicamente a suplir las necesidades de un edificio. Una sola unidad de condensación se puede conectar a varios evaporadores, los cuales son controlados individualmente.

En un sistema de climatización tradicional, el sistema se pone en marcha cuando la habitación está demasiado caliente o demasiado fría; sin embargo, un sistema VRV se ajusta constantemente. Para cada local, se genera una una señal de consigna de la cantidad de refrigerante requerido, el cual se manda a cada unidad evaporadora. Esta variación del caudal de refrigerante permite al sistema trabajar solamente cuando se necesite en cada área para mantener en nivel de confort.

Todo ello comporta un ahorro energético y permite un control segregado de cada zona térmica que se esté

considerando, de modo que puede ocurrir que en un instante dado se requiera calefacción en un sector y refrigeración en otro, lo cual no supone ningún inconveniente para las unidades VRV. [15]

2.5.2 Sistema de iluminación

La iluminación de nuestro edificio se cubre mediante fluorescentes en su gran mayoría de espacios. Los fluorescentes se disponen en pantallas empotrables con difusor doble parabólico. La potencia de cada fluorescente varía según su finalidad, encontramos de 28, 35 y 49 W. También hay espacios con bombillas halógenas, o bombillas de bajo consumo, pero estas representan un porcentaje insignificante respecto del total. En la siguiente tabla se muestran los consumos anuales correspondientes a iluminación para cada planta del edificio:

	Potencia (W)	Consumo (kWh)
Planta Baja	1 x 15.699,6	1 x 55.168,4
Planta Tipo	7 x 26.166	7 x 65.676,7
Parking	4 x 5.233,2	4 x 18.389,5
TOTAL:	219,8 kW	588.463,3 kWh

Tabla 2: Cargas de iluminación por plantas

Analizando un poco los datos de la tabla 2, se puede inferir que la planta que tiene más consumo asociado con la iluminación es la planta tipo. Más concretamente si se tiene en cuenta el nivel máximo permitido por el RITE en lugares administrativos, para el caso de la iluminación son 12 W/m^2 ; y se divide la potencia instalada en la planta tipo (26.166 W) entre la superficie de la planta ($2.810,8 \text{ m}^2$), se obtiene $9,31 \text{ W/m}^2$ lo cual está ligeramente por debajo del límite exigido. Con esto se puede concluir que aunque los espacios estén bien iluminados, se podría mejorar la instalación para reducir su consumo, lo cual se tendrá en cuenta en el apartado de mejoras propuestas.

Para el dimensionamiento del sistema de climatización, una de las cargas a tener en cuenta es el calor liberado por la iluminación. De forma convencional se ha tomado como valor de referencia que una lámpara incandescente libera el 90% de su potencia en forma de calor, una lámpara fluorescente reduce este porcentaje al 70% y la iluminación LED presenta la mayor diferencia, sólo entre el 5 y el 10% se libera en forma de calor, por eso se demuestra que su eficiencia es mucho mayor, la mayoría de la potencia consumida se emplea para iluminar. Con estos datos, por parte de la iluminación necesitaremos 0,7 veces la potencia de iluminación para suplir su carga en refrigeración. Cuando se analice el edificio en régimen de calefacción, este valor lo podremos descontar de la potencia necesaria para la climatización. Más adelante, en las propuestas de mejora, se recalcula este valor y se muestra la reducción que comporta en el consumo, la instalación de tecnología LED.

A OpenStudio le basta con indicarle cuantos W/m^2 hay instalados de iluminación y realizará el cálculo automáticamente.

2.5.3 Equipamiento

El siguiente punto a tratar será el equipamiento del edificio. Al tratarse de un edificio de oficinas, su parte más importante de consumo se deberá a los ordenadores, monitores e impresoras, el resto de equipos no tendrán tanta importancia pero tampoco se podrán despreciar. La tabla siguiente muestra un resumen del consumo anual de energía eléctrica debido a los equipos instalados en las diferentes plantas del edificio:

	Potencia (kW)	Consumo (kWh)
Planta Baja	1 x 27,29	1 x 17.290,9
Planta Tipo	7 x 19,47	7 x 18.649,1
Párquing	4 x 0,5	4 x 2.008
TOTAL:	165,58 kW	155.866,6 kWh

Tabla 3: Cargas de equipamiento por plantas

Viendo la tabla anterior y comparándola con la tabla de iluminación, se puede observar que para la planta tipo, la potencia instalada es el doble en equipamiento que en iluminación, sin embargo el consumo por iluminación es mayor dado que el número de horas de funcionamiento de la iluminación es superior al de equipamiento.

A continuación se muestra el detalle de la distribución de equipamiento que se ha considerado para una planta tipo del edificio:

PLANTA TIPO	Potencia (W)	Consumo (kWh)
Ordenador	184 x 48	8.313,1
Monitor	184 x 36	6.234,8
Impresora	76 x 30	243,2
Trituradora	2 x 100	1,1
Proyector	2 x 200	14,4
Fotocopiadora	5 x 88	220,9
Módem	15 x 10	903,6
Switch 24 puertos	15 x 30	2710,8
Televisor	2 x 50	7,2
TOTAL	19,47 kW	18.649,1 kWh

Tabla 4: Cargas de equipamiento en Planta Tipo

Para el caso de la planta baja, tenemos otros equipos ya que es donde se encuentra la cafetería, además de la recepción y salas de otros usos. En la tabla 5 se muestran los consumos para la planta baja:

PLANTA BAJA	Potencia (W)	Consumo (kWh)
Tostadora	2.500	313,75
Máq. Café	3.200	803,2
Frigorífico	250	627,5
Congelador	250	627,5
Surtidor	300	376,5
Mostrador	100	50,2
Fogón eléctrico	2.000	1.004
Microondas	2.200	273,1
Freidora	2.500	313,75
Equip. oficinas	13.990	12.898,36
TOTAL	27,29 kW	17.290,86 kWh

Tabla 5: Cargas de equipamiento en Planta Baja

Para el dimensionamiento del sistema de climatización, se va a considerar también el calor que desprende el equipamiento de un edificio de oficinas. Según un estudio realizado por la ASHRAE [5], en el que se analizan más de 500 elementos de equipamiento, el calor desprendido por el equipamiento de una oficina se encuentra alrededor del 25%. Para los equipos de cocina este valor es más elevado, ya que se trata de elementos de emisión de calor.

Estos valores ya los tiene en cuenta OpenStudio a la hora de simular, simplemente habrá que introducir el nivel de equipamiento en W/m^2 y el tipo de espacio considerado, con esto queda determinado el sistema.

2.5.4 Ocupación, radiación e infiltración

Para tener completamente definido el sistema energético, que será el edificio entero, habrá que definir al menos tres componentes más, que son: la ocupación, la radiación y la infiltración.

La componente de la ocupación es una variable importante a la hora de definir el sistema, ya que de ella depende la carga de refrigeración, calefacción y ventilación. Además, esta carga no dependerá solamente del número de ocupantes, sino también de su grado de actividad, quiere esto decir, que no tiene los mismos requerimientos un local de oficinas, que un gimnasio, por ejemplo. De esto se derivan otras tres variables que son: el calor sensible, el calor latente y las renovaciones/hora del aire del local.

El calor sensible es el calor que hay que combatir debido al nivel térmico, el cual no solamente se deriva de los

ocupantes y su actividad, sino también del resto de componentes; la iluminación, el equipamiento y la radiación, entre otros.

El calor latente es el calor que hay que combatir debido a la humedad presente en el local. Para que el local se mantenga dentro de las condiciones de confort, éste deberá tener una concentración en humedad dentro de unos márgenes, los cuales vienen determinados en el RITE. Normalmente la humedad relativa del local se encuentra entre el 40% y el 60%.

Las renovaciones/hora, es el número de veces que hay que renovar el volumen de aire de un local durante una hora para mantener la calidad del aire interior. Esto significa que, debido a la ocupación y a la actividad del local, hay una emisión vapor de agua y CO₂, lo cual aumenta la humedad del local y empeora las condiciones de calidad del aire interior. Para ello hay definidos, también en el RITE, cuáles deben ser los niveles de calidad del aire interior y las renovaciones/hora requeridas.

La radiación solar juega un papel importantísimo en los edificios, especialmente los de oficinas, en los que el porcentaje de huecos es el predominante. Debido a la radiación, el edificio tiene unas ganancias de calor no deseadas en los períodos de verano, que hacen que el consumo de refrigeración se dispare. Por ello se adoptan una serie de medidas, que pueden ser; modificación de las características de las ventanas, poniendo doble o triple cristal, recubriéndolos de películas bajo-emisivas, dotándolos de propiedades foto-sensibles, y también instalando elementos de sombra exteriores, interiores o intermedios. De esta manera se logran reducir las cargas en un local de manera significativa.

El último punto a tener en cuenta son las infiltraciones. Todos los elementos de cerramientos, ya sean ventanas o puertas, tienen siempre algún espacio por donde se puede filtrar el aire, sobre todo en puertas. El problema de las infiltraciones es que normalmente el aire que entra por esos huecos no está en las condiciones deseadas en el local, y viene en otras condiciones de humedad y temperatura. De igual forma ocurre con las exfiltraciones, las cuales no queremos que sean muy elevadas para no estar derrochando energía en un flujo que tiramos al ambiente. Por ello se realizan pruebas de estanqueidad en los locales, sometiénolos a presión distinta a la exterior para analizar el grado de infiltración o exfiltración que tienen. Por lo general siempre se desea tener un local a sobrepresión para que no esté entrando aire con condiciones exteriores.

Todos estos parámetros, se pueden introducir en OpenStudio. La ocupación y el nivel de actividad se definen para cada tipo de espacio. Los datos de radiación se importan de una base de datos proporcionada por EnergyPlus, desde la cual se extraen datos meteorológicos para distintas ciudades del mundo. La caracterización de la infiltración o exfiltración también es posible en OpenStudio.

3 METODOLOGÍA

En este apartado se describe el procedimiento a seguir para la realización de la evaluación energética de nuestro edificio. Para ello deberemos obtener la información necesaria para una buena definición de las características edificatorias. En segundo lugar se realizará un análisis energético del estado actual de nuestro caso de estudio. Y por último se propondrán mejoras para la reducción del consumo energético.

3.1 Toma de datos

Este primer paso consiste en hacer una visita *in situ* del edificio con el que vamos a trabajar. En dicha visita se recogerá información detallada sobre las características de los locales, tipo de iluminación, ocupación, temperatura de los locales y horarios o turnos de trabajo.

Además de la visita, se procederá a la búsqueda de documentación indispensable para la descripción del edificio, como son:

- Ubicación geográfica.
- Planos arquitectónicos.
- Planos y esquemas de los sistemas energéticos
- Usos del edificio.
- Inventario de los equipos interiores.
- Datos meteorológicos.
- Imágenes interiores y exteriores.

Una vez se disponga de todos estos datos, se considerarán las primeras vías de mejora como pueden ser las condiciones de confort, tanto térmicas como de humedad, la mejora de los sistemas de iluminación o la estanqueidad de los cerramientos.

3.2 Análisis energético preliminar

En esta fase se realiza un estudio primario del edificio a partir de los datos obtenidos en el apartado anterior. Este estudio se centra en el estado actual del edificio para definir el punto de partida de nuestro análisis energético. A partir de esta situación inicial, se procederá a la evaluación de los posibles márgenes de mejora de los sistemas que componen el edificio y así mejorar su eficiencia energética.

Para la realización de éste análisis, se dispone de una herramienta de soporte, en nuestro caso será OpenStudio, que centrará nuestra atención el resto del presente trabajo.

3.3 Propuestas de mejora

Una vez realizada la simulación del edificio, se han propuesto diferentes alternativas para la reducción del consumo del edificio mediante la instalación o sustitución de equipamiento dirigido a satisfacer ese fin.

Además se han incluido una serie de medidas de control para adecuar el consumo a la demanda existente en cada instante y así poder mantener las condiciones de confort en todo momento de un modo asequible.

Nuestras propuestas deberán ser viables económicamente y tecnológicamente posibles, de modo que se usará tecnología existente ya desarrollada y su coste de implantación no debe superar los límites impuestos por las condiciones económicas del inversor.

Para ello, se debe tener en consideración el espacio del que se dispone para la inserción de las mejoras, tanto el espacio disponible dentro del edificio, como en el terreno que lo rodea.

Aunque exista una solución que reduzca el consumo del edificio, por lo detallado en los puntos anteriores, si ésta modificación implica sobrecostes, o requiere de espacio adicional para su implantación, no se adoptaría la propuesta de mejora, o al menos, no en ese tamaño. Se decidirán cuales son las medidas adecuadas para el espacio y el presupuesto del que se dispone.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, con este proyecto no se pretende cambiar las características arquitectónicas del edificio, si no, analizar qué posibilidades se podrían implantar en un edificio existente sin realizar modificaciones estructurales ni insertar elementos arquitectónicos nuevos ya sea interior, o exteriormente.

4 DESARROLLO EN OPENSTUDIO

En este capítulo, se va a proceder a la definición de todas las características y propiedades que constituyen el Edificio Picasso. En este caso se ha introducido toda la información de la que se dispone sobre el edificio real en OpenStudio. Una vez caracterizado todo el edificio, se han realizado diversas simulaciones y se han analizado los resultados obtenidos. Más adelante se han implementado diferentes modificaciones en las instalaciones interiores para reducir el consumo y así mejorar la eficiencia global del sistema.

4.1 Modelado en SketchUp

El entorno de trabajo de SketchUp, presenta algunas ventajas con respecto a otros programas de diseño gráfico. La realización de modelos en 3D, es mucho más rápida y fácil, por lo que le sirve de aliado a OpenStudio para definir la geometría del edificio de entrada. Por eso se ha desarrollado un Plug-in de para SketchUp, con la finalidad de facilitar el trabajo a sus usuarios. Además, OpenStudio no requiere una arquitectura completamente definida, sino que le basta con la geometría, las paredes, techos y suelos, se dibujan de manera conceptual, representados por superficies en lugar de volúmenes. Una vez se tiene la geometría, se le aplicarán las propiedades en OpenStudio, determinando el grosor de las paredes y las características de los materiales que se van a emplear.

4.1.1 Creación de espacios

El primer punto para empezar a desarrollar el edificio es la creación de espacios. Para ello, se inserta con la herramienta “New Space” un punto de origen de nuestro nuevo espacio. Luego utilizando las herramientas habituales de SketchUp se dibuja la geometría del espacio en cuestión.

El programa define por defecto que la superficie de abajo es el suelo, y la de arriba el techo, lo cual se indica con colores diferentes: el gris para el suelo y color teja para el techo. También se pueden introducir ventanas, simplemente dibujando un rectángulo en las paredes de nuestro espacio. Automáticamente se convertirá en una superficie azulada traslúcida. Y de la misma manera se pueden definir puertas, las cuales aparecerán de color marrón sobre las paredes.

Si se quieren cambiar las propiedades de los elementos que hemos introducido, se debe utilizar la herramienta “OpenStudio Inspector” donde aparecen todas las propiedades del edificio que hemos introducido. Allí podemos definir, por ejemplo, si la superficie está en contacto con el suelo, si está expuesto al sol o al viento, etc.

Una vez que se ha definido la geometría, hace falta concretar a qué zona térmica corresponde, a qué planta, y de qué tipo de construcción se trata. Para ello usaremos la herramienta “Set Attributes for Selected Spaces”. Con esta herramienta se pueden crear tantas zonas térmicas como se quieran y tantas plantas como se deseen. El tipo de construcción por defecto es de tipo oficinas lo que implica que todos los espacios que se creen, van a formar parte de un edificio de oficinas.

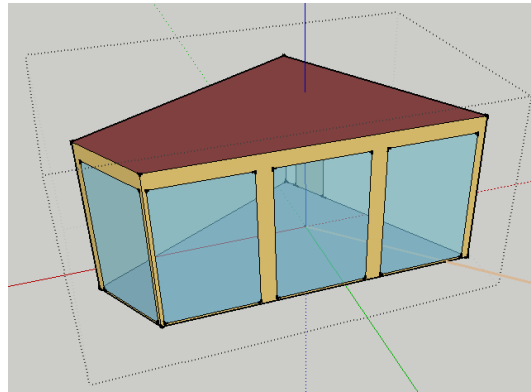


Figura 11: Creación de espacios en SketchUp

Prosiguiendo de esta forma, se va definiendo el resto de la geometría del edificio. En nuestro caso, se ha definido la geometría para una sola planta y luego se ha copiado 7 veces. La planta baja tiene una distribución distinta por lo que se harán algunas modificaciones sobre la planta tipo, para contemplar la entrada a recepción y las entradas y salidas de los parkings. De esta forma se tienen las ocho plantas del edificio.

La geometría de una planta tipo quedaría como se puede observar en la Figura 12:

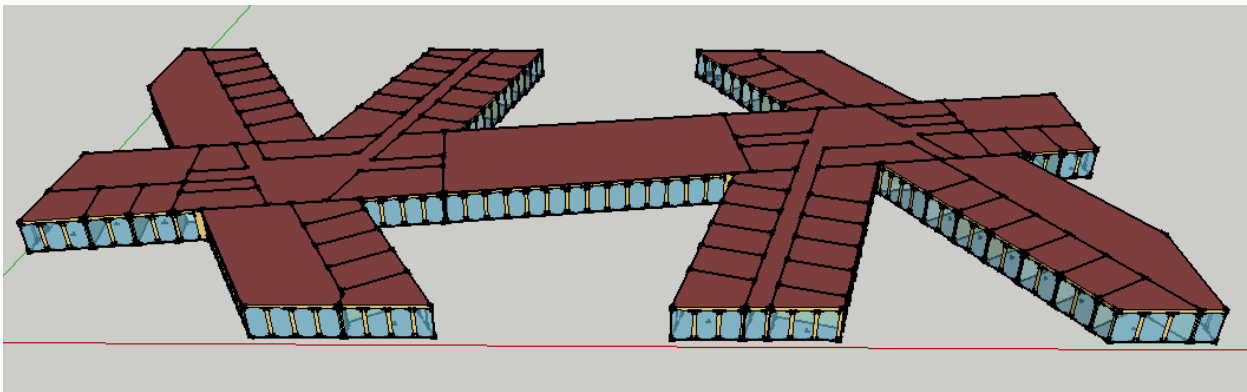


Figura 12: Planta Tipo

4.1.2 Caracterización de los espacios

Una vez definida la geometría como se ha indicado anteriormente, hay que definir las zonas térmicas del edificio. Más concretamente, se ha realizado la separación de la planta en las siguientes zonas térmicas:

- | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------------|---------------|
| - Ala Norte | - Ala Oeste | - Nave Central | - Pasillo Sur |
| - Ala Nor-Este | - Ala Sur | - Conferencia Norte | - Baños Norte |
| - Ala Nor-Oeste | - Ala Sur-Este | - Conferencia Sur | - Baños Sur |
| - Ala Este | - Ala Sur-Oeste | - Pasillo Norte | - Ascensores |
| - Almacenamiento Norte | | - Escalera Norte | |
| - Almacenamiento Sur | | - Escalera Sur | |

Una vez se han definido todas las zonas térmicas, se puede visualizar qué espacio corresponde a qué zona térmica, mediante una asociación de colores. Para ello se utiliza la herramienta “Render By Thermal Zone”. De esta manera, cuando se tenga el edificio completo, se puede ver que para distintas plantas se tiene la misma zona térmica y lo único que cambia es la planta del edificio.

Una herramienta indispensable para la buena concreción de las condiciones de contorno de un espacio es el “Surface Matching”. Esta herramienta sirve para relacionar la pared de un espacio con la pared del espacio colindante o entre techo y suelo. Esto sirve a efectos de la transmisión de calor que puede haber entre los dos espacios a través de estas superficies, ya que no tienen por qué ser las mismas condiciones térmicas las que se den en un espacio, con otro colindante.

Para poder visualizar si se ha realizado correctamente el “Surface Matching”, tenemos la herramienta denominada: “Render By Boundary Condition”. Las superficies en verde muestran que se ha realizado una correcta relación entre espacios y si está en gris azulado, significa que no se ha hecho correctamente. Las condiciones exteriores de puertas y ventanas se muestran con otras gamas de azul. En la Figura 13 se puede ver un caso donde no se ha hecho bien la operación en algunas superficies:

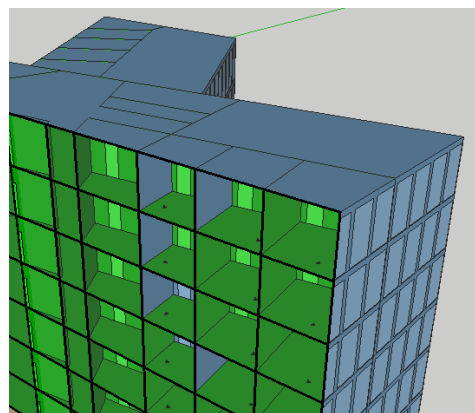


Figura 13: Surface Matching

4.1.3 Entorno del edificio

El edificio sobre el que se está trabajando, se encuentra rodeado de otras construcciones, las cuales proyectan su sombra durante el día hacía nuestro edificio. Para caracterizar dichas sombras se debe hacer mediante la herramienta “New Shading Surface Group”. De esta manera se dibuja a modo de prismas, todos los edificios que están alrededor del nuestro y que puedan tener alguna implicación en la formación de sombras sobre el mismo. En la siguiente imagen se ve una superposición del entorno real y el modelo en SketchUp. Esto se puede realizar también con la herramienta que dispone, llamada Geo-Localización. Con esta herramienta, se puede construir el edificio directamente sobre la imagen proporcionada por GoogleMaps.

Como se puede ver en la imagen, por un lado hay edificios altos que incluso sobrepasan la altura del Edificio Picasso y hay otros más lejanos que no se han tenido en cuenta por su lejanía, ya que estos no proyectarían ninguna sombra sobre el edificio, ni siquiera en invierno cuando el sol está más bajo. Por la parte de debajo de la imagen no hay ningún edificio que genere sombras ya que por esta zona pasan las vías del tren y los siguientes edificios quedan más lejos y son más bajos.

También aparece en esta imagen el sistema de coordenadas, marcado con tres líneas de color rojo, verde y azul. Además aparece otra línea, es la que indica la dirección norte. Esto se puede configurar desde OpenStudio en el apartado Instalaciones

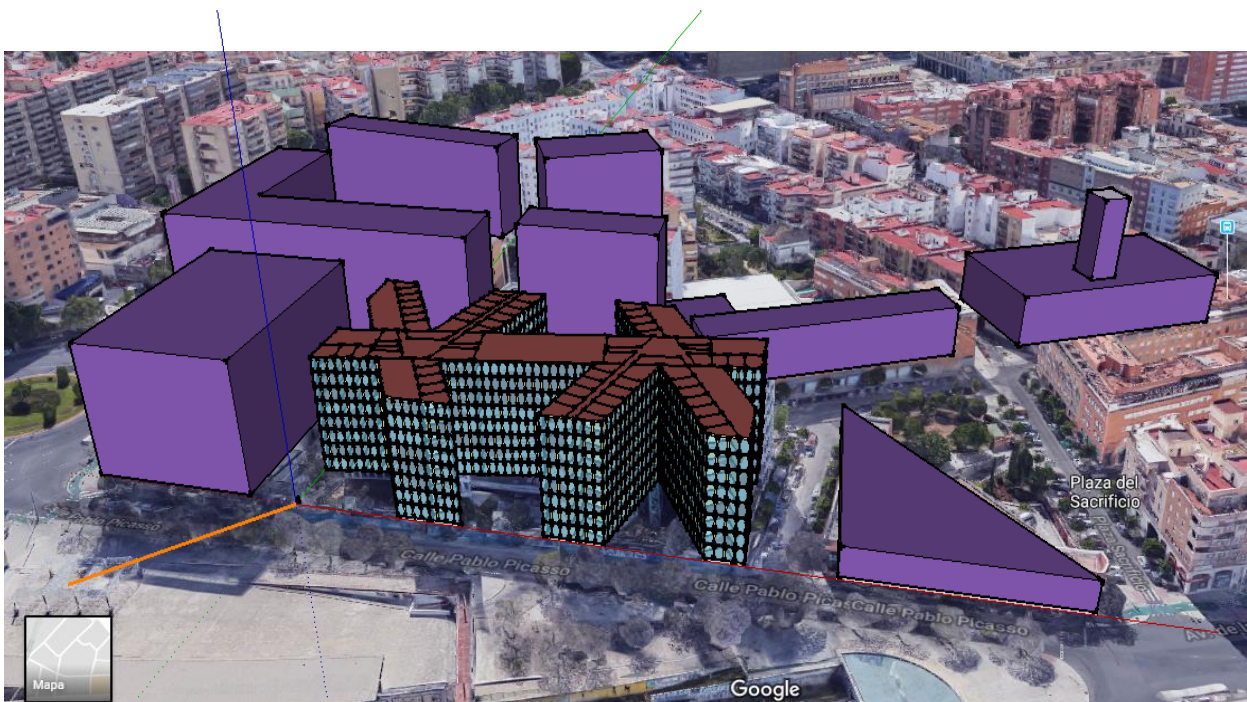


Figura 14: Entorno del Edificio Picasso

A partir de este punto ya se puede para empezar a trabajar con OpenStudio. En los siguientes apartados se detallará todo el procedimiento seguido.

4.2 Emplazamiento y datos meteorológicos

Como primer paso se tiene que definir la ubicación geográfica e insertar datos meteorológicos correspondientes al emplazamiento. Los datos climatológicos se pueden descargar desde la página de EnergyPlus (www.energyplus.net/weather). En la Tabla 6 se muestran los datos de ubicación:

Nombre	SEVILLA
Latitud	37,42°
Longitud	-5,9°
Elevación	7 m
Zona horaria	1

Tabla 6: Datos de ubicación

También podemos seleccionar la zona climática a la que corresponde esta ubicación, la vamos a definir según lo establecido por ASHRAE, ya que la otra opción corresponde a la California Energy Commission (CEC), lo cual no procede. La zona climática que corresponde para Sevilla es la B4.

En esta pestaña se puede seleccionar también el año para el que se quiere realizar la simulación o el día de la semana con el que empieza el año, esto es a efectos de decidir qué número de día corresponde a qué día de la semana, por ejemplo, si queremos que el 1 de Enero sea lunes, martes, etc. En este caso, se ha elegido que el periodo de simulación quede comprendido ente el 1 de Enero de 2018 (lunes) y el 31 de Diciembre de 2018 (lunes).

Luego en esta sección se puede encontrar más abajo con las características meteorológicas de los días del año. Esto se tiene que importar también de EnergyPlus en otro archivo. Este archivo tiene los días caracterizados de todo el año y muestra información de temperatura, humedad, presión, viento, precipitación y radiación solar. Estos datos corresponden a una selección realizada dentro de series históricas o síntesis estadística. Para el caso de España, los datos aportados a EnergyPlus, proceden de un estudio sobre 52 localidades españolas realizado por el grupo de Termotecnia de la Escuela de Ingenieros de Sevilla para la creación de la herramienta Calener, con la colaboración del Instituto Nacional de Meteorología. Una vez se disponía de todos estos datos meteorológicos, se generó sintéticamente un archivo meteorológico con Climed, software desarrollado en Portugal. Más adelante, estos ficheros se convirtieron de DOE-2 a formato EnergyPlus.

En este apartado, también se pueden encontrar otras dos pestañas, una se refiere al análisis del coste de ciclo de vida y la otra a facturas eléctricas en la que podemos introducir el coste de la energía eléctrica, del gas, diesel, propano, agua, vapor y de otras fuentes de energía.

4.3 Horarios

En este apartado se pueden encontrar todas las definiciones de horarios que serán necesarios para definir bien el sistema. Más detalladamente, este apartado se divide en dos pesatañas; una es la definición de conjunto horario y la otra se refiere a cada horario en particular. En nuestro caso, se ha seleccionado como conjuntos horarios los siguientes:

- 189.1 – 2009 – Office – ClosedOffice – CZ1-3 Schedule Set.
- 189.1 – 2009 – Office – Conference – CZ1-3 Schedule Set.
- 189.1 – 2009 – Office – Corridor – CZ1-3 Schedule Set.
- 189.1 – 2009 – Office – OpenOffice – CZ1-3 Schedule Set.
- 189.1 – 2009 – Office – Stair – CZ1-3 Schedule Set.
- 189.1 – 2009 – Office – Storage – CZ1-3 Schedule Set.
- 189.1 – 2009 – Office – BreakRoom – CZ1-3 Schedule Set.

Estas definiciones de conjuntos horarios vienen por defecto en el programa, en este caso se han aplicado algunas modificaciones para cada tipo de horario, si se requiere. Dentro de cada conjunto horario vienen desgranados los horarios que se contemplan:

- Horas de operación
- Equipamiento de gas
- Equipamiento eléctrico
- Número de personas
- Equipamiento de agua caliente
- Infiltraciones
- Actividad de las personas
- Equipamiento de vapor
- Iluminación
- Otro equipamiento

A cada una de estas categorías le tendremos que asignar un horario, ya puede ser predeterminado o bien lo podemos crear nosotros. Los horarios que se pueden crear son de tipo: adimensional, fraccional, nivel de actividad, ON/OFF, capacidad, temperatura, presión, porcentaje, y algunos más. Además, se puede asignar, en qué fechas queremos que se desarrolle este tipo de horario. A continuación se muestra un horario de ocupación del tipo fracción para una oficina grande, que depende del número máximo de personas por metro cuadrado.

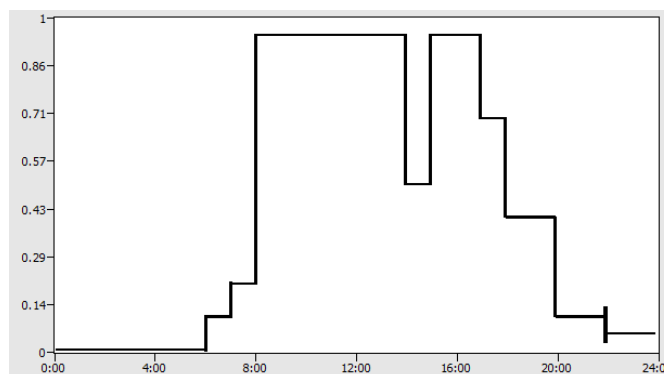


Figura 15: Definición de ocupación – Tipo Fracción

Con esta herramienta también se pueden configurar las temperaturas de consigna para los regímenes de refrigeración y de calefacción. En nuestro caso se ha considerado para el régimen de refrigeración una temperatura de consigna de 24 °C durante el horario de trabajo y de 26,7 °C fuera del horario de trabajo, es decir, por la noche. Para el régimen de calefacción hemos considerado, durante el periodo laboral, una temperatura de 21 °C y fuera del horario de trabajo, una temperatura de 15,6 °C. Todo ello de acuerdo con los estándares de confort térmico.

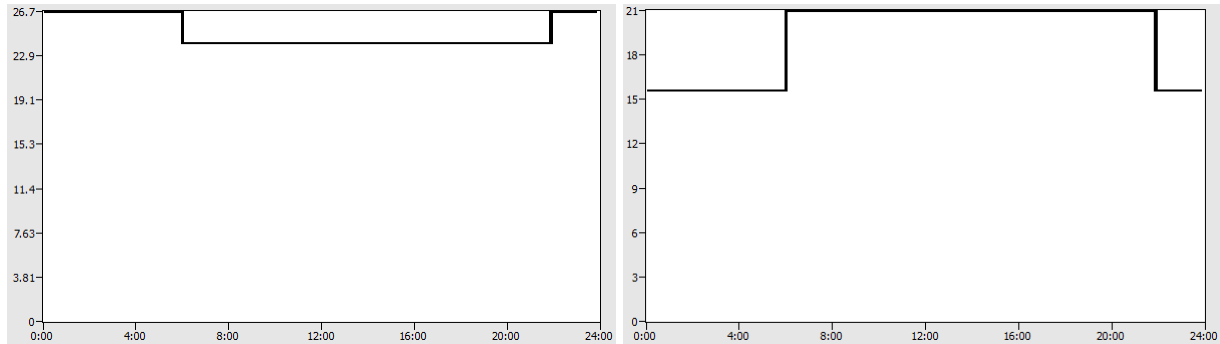


Figura 16: Temperatura de consigna de refrigeración y de calefacción

De la misma forma se pueden definir los tramos horarios de utilización del equipamiento presente en el edificio o de la iluminación. Tanto los equipos como la iluminación empezarán a tomar importancia poco antes de las 8:00h de la mañana e irán en aumento conforme avance el día, alrededor del mediodía, debido al almuerzo, hay una pequeña bajada en la utilización, luego por la tarde crece de nuevo y al terminar la jornada laboral, baja hasta ser prácticamente nula la iluminación y menos de la mitad el equipamiento.

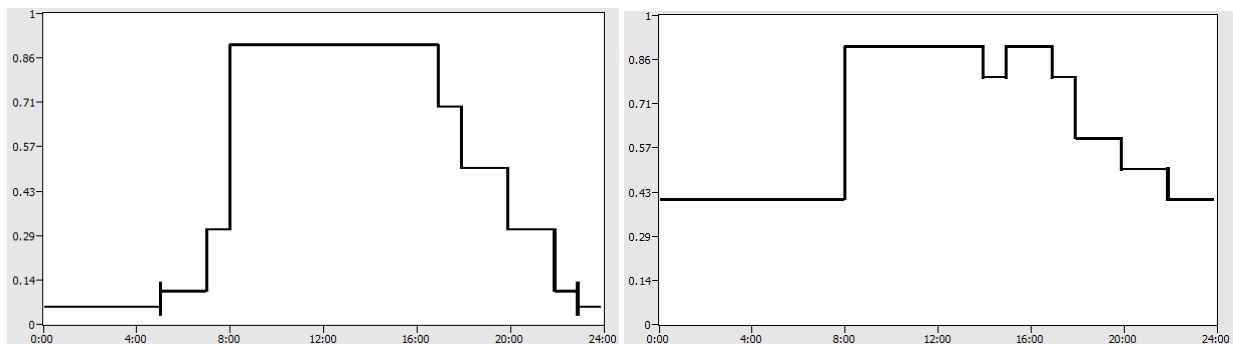


Figura 17: Definición de Iluminación y Equipamiento – Tipo Fracción

Como se ha dicho anteriormente, los horarios se pueden definir para diferentes épocas del año y distintos días de la semana, esto se puede realizar asignando prioridades en la definición de horario, por lo que además de haber el horario por defecto, se tendrá en cuenta lo que hayamos predeterminado para esas fechas concretas:

Jan						
l	m	m	j	v	s	d
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Figura 18: Definición de prioridades

4.4 Construcciones y Materiales

En este apartado se definen todas las características que componen los espacios de nuestro edificio. Tenemos tres subapartados, el primero es la definición de construcción, el segundo subapartado es la definición de los componentes que definen la construcción, y el tercer subapartado son los materiales usados en los componentes [22].

Nuestra definición genérica de construcción es: 189.1 – 2009 – Office. Dentro de esta definición genérica tenemos varias secciones de construcciones y dentro de cada una la definición de los elementos que componen. Su estructura es tal como sigue:

- **Superficies Exteriores:** Paredes, Suelos, Tejados.
- **Superficies Interiores:** Paredes, Suelos, Techos.
- **Superficies en contacto con el terreno:** Paredes, Suelos, Techos.
- **Subsuperficies exteriores:** Ventanas fijas, Ventanas operables, Puertas, Puertas de cristal, Puerta basculante, Claraboya, Tragaluz tubular, Difusor del tragaluz.
- **Subsuperficies interiores:** Ventanas fijas, Ventanas operables, Puertas.
- **Otras construcciones:** Sombreado por espacio, Sombreado por edificio, Sombreado del sitio, Particiones interiores.

El siguiente subapartado es el de construcciones. Aquí es donde se definen los materiales que forman cada tipo de componente. Hay multitud de opciones para la definición de la construcción pero lo más importante es la correcta inserción de los materiales, ya que requiere de un orden. El orden viene establecido por la capa donde se encuentra el material, es decir si está cercana al interior del local o al exterior. Esto es de vital importancia por si se forman dos componentes del tipo Techo y Suelo, porque éstos estarán íntimamente relacionados. Por ejemplo, hemos creado una nueva construcción que se llama Techo Interior y le hemos asignado diferentes materiales, en el siguiente orden:



Los materiales que aparecen para esta construcción, algunos se han creado expresamente, como el Hormigón armado y el Aislamiento del techo y los otros están predefinidos por el programa. El orden lógico desde el punto de vista del local es que desde dentro hacía fuera, tengamos primero placas acústicas, que componen en falso techo, luego un espacio de aire entre el falso techo y el techo real por donde pueden ir todas las canalizaciones eléctricas y para climatización. Luego el aislamiento del techo, que se trata de poliestireno extrusionado y por último de hormigón.

Las características de estos elementos constructivos se detallan más adelante.

Figura 19: Materiales empleados en un componente

En el subapartado de materiales, tenemos una amplia gama de materiales de todo tipo y en caso de no encontrar el material deseado, también podemos crearlo nosotros.

Los tipos de materiales de los que disponemos se reúnen por grupos: materiales convencionales, acristalamientos, espacios de aire, gases para relleno de ventanas, materiales de persianas, materiales para sombras, materiales transparentes, incluso un material denominado “Air Wall”, que es de utilidad para el caso de espacios abiertos o dos áreas distintas que no estén separadas por una pared física.

Los parámetros a concretar a la hora de crear un material o modificar uno existente son tales como rugosidad, grosor, conductividad, densidad, calor específico, absorción térmica, resistencia térmica, entre otros. En este punto ya se puede empezar a vislumbrar la capacidad de cálculo de OpenStudio, que tiene en cuenta todos estos parámetros, para cada espacio y todas sus condiciones de contorno.

En la siguiente tabla se muestran los componentes y los materiales usados para la definición del edificio:

Componente	Materiales
Tejado Exterior	Membrana tejado – Aislamiento tejado – Recubrimiento Metal
Pared Exterior	Estuco – 20 cm Hormigón – Aislamiento pared – Placa de yeso 19 mm
Puerta Exterior	Superficie metal – 25mm tabla de aislamiento
Terreno	30 cm Hormigón armado – Material terreno
Techo Interior	Hormigón armado – Aislamiento techo – Resistencia espacio aire – Placa acústica
Puerta Interior	25 mm madera
Suelo Interior	Placa acústica – Resistencia espacio aire – Aislamiento techo – Hormigón armado
Partición Interior	19 mm Placa de yeso – Aislamiento Pared – 19 mm Placa de yeso
Pared Interior	19 mm Placa de yeso – Aislamiento Pared – 19 mm Placa de yeso
Ventanas	Ventana doble acristalamiento – Espacio de aire – Ventana doble acristalamiento
Air Wall	Air Wall Material

Tabla 7: Definición de componentes y materiales

Para el caso de las ventanas, otras propiedades que se le pueden asignar son el número de cristales (simple, doble o triple acristalamiento), el tipo de gas empleado para el relleno entre los cristales, también se puede dotar de un tinte a la ventana para hacerla más oscura o de otro color, o asignarle una capa de baja emisividad.

La correcta definición de las características de los materiales hará más realista la simulación posterior y más adelante para las propuestas de mejora, se tendrán en cuenta mejoras en los materiales y por ejemplo dotar a la ventana de una capa bajo-emisiva.

En los anexos se detallarán las características térmicas y geométricas de los materiales.

4.5 Cargas

En esta pantalla OpenStudio permite definir las cargas del edificio. Como se ha comentado anteriormente, se han definido tres tipos de cargas: ocupación, iluminación y equipamiento. El modo de introducir las cargas es introduciendo los valores de ocupación, en personas/m² y para la iluminación y el equipamiento en W/m². Después de haber insertado estos valores, tendremos que concretar otros parámetros que es la fracción radiante que desprenden y luego la fracción latente (para ocupación y equipamiento), la fracción visible (para iluminación) y el ratio de generación de CO₂ (para ocupación). Estos datos los tendremos que ir introduciendo para cada tipo de espacio. A continuación se muestran las tablas de caracterización de las cargas:

- Cargas por ocupación:

Ocupación (Personas/m ²)	
BreakRoom	0,35
ClosedOffice	0,216
Conference	0,318
Corridor	0,01
OpenOffice	0,192

Tabla 8: Cargas por ocupación

El factor de fracción radiante emitida se tomará de 0,3 y el factor de fracción latente se deja como “autocalcular”. La tasa de generación de CO₂, se dejará por defecto con valor de 0.000038 L/s·W.

Estos valores mencionados en la tabla están sujetos a los horarios de tipo ocupación, por lo que sólo se alcanzarán estos valores límites si la fracción de ocupación es 1. Como hemos visto antes, la fracción de ocupación se va incrementando progresivamente especialmente desde las 8:00h de la mañana y no llega a su máximo, ya que se considera que no durante todo el rato, la oficina estará al cien por cien de su capacidad.

- Cargas por iluminación:

Iluminación (W/m ²)	
BreakRoom	10,625
ClosedOffice	9,309
Conference	8,309
Corridor	4,843
OpenOffice	9,309
Stair	5,812
Storage	7,75

Tabla 9: Cargas por iluminación

En este caso se considera de modo general que la iluminación es de tipo fluorescente y que su fracción de radiación es del 70% y la fracción visible el 30%.

- **Cargas por equipamiento:**

Equipamiento (W/m ²)	% Latente	% Radiante	
BreakRoom	9,708	30	70
ClosedOffice	6,928	0	25
Conference	3,98	0	12
Corridor	1,722	0	10
OpenOffice	6,928	0	25

Tabla 10: Cargas por equipamiento

Para el caso del equipamiento en los espacios tipo “BreakRoom” se considera el 30% de carga latente debido a la producción de vapor en los equipos de cocina. Luego, para cada tipo de espacio restante consideraremos otros porcentajes de emisión radiante, basados en el estudio realizado por la ASHRAE [5], anteriormente mencionado. El estudio ha llegado a determinar el porcentaje aproximado de radiación emitida y su mecanismo de convección asociado. En nuestro caso, se ha adoptado por una emisión radiante promedio del 25% en las oficinas ya que la mayoría del equipamiento presente son ordenadores y monitores.

Device	Fan	Radiant	Convective
Computer	Yes	10% to 15%	85% to 90%
Monitor	No	35% to 40%	60% to 65%
Comp. + Monitor	—	20% to 30%	70% to 80%
Laser Printer	Yes	10% to 20%	80% to 90%
Copier	Yes	20% to 25%	75% to 80%
Facsimile	No	30% to 35%	65% to 70%

Tabla 11: Porcentaje radiativo y convectivo del equipamiento

4.6 Tipo de Espacios

En esta sección se hace un resumen de la caracterización de todos los tipos de espacio presentes en el edificio. Tenemos cuatro pestañas en este apartado, la primera es una descripción de las características generales, la segunda es un resumen de las cargas que están presentes en cada tipo de espacio y las dos últimas son medidas y personalización.

La pestaña general está formada por una tabla con los campos siguientes: “Rendering Color”, definición de construcción por defecto, horario por defecto, especificación del aire exterior de diseño, ratios de infiltración de flujo de diseño, estanqueidad. El formato de la pestaña se puede ver en la siguiente figura:

Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates	Space Infiltration Effective Leakage Areas
Office - BreakRoom - CZ1-3	<input type="checkbox"/>	■	<input type="text" value="Apply to Selected"/>	<input type="text" value="189.1-2009 - Office - BreakRu"/>	<input type="text" value="189.1-2009 - Office - BreakRu"/>	skRoom - CZ1-3 Infiltration	<input type="text" value="Apply to Selected"/>
Office - BreakRoom - CZ4-8	<input type="checkbox"/>	■	<input type="text" value="Apply to Selected"/>	<input type="text" value="189.1-2009 - Office - BreakRu"/>	<input type="text" value="189.1-2009 - Office - BreakRu"/>	skRoom - CZ4-8 Infiltration	<input type="text" value="Apply to Selected"/>

Figura 20: Tipos de Espacio

La pestaña de cargas tiene el siguiente aspecto:

Space Type Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
09 - Office - BreakRoom - CZ1-3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> BreakRoom - CZ1-3 People <input type="checkbox"/> BreakRoom - CZ1-3 Lights <input type="checkbox"/> - CZ1-3 Electric Equipment <input type="checkbox"/> skRoom - CZ1-3 Infiltration	<input type="text" value="1.000000"/> <input type="text" value="1.000000"/> <input type="text" value="1.000000"/>	kRoom - CZ1-3 People Definition skRoom - CZ1-3 Lights Definition 1-3 Electric Equipment Definition	<input type="text" value="Apply to Selected"/> <input type="text" value="Office Misc Occ"/> <input type="text" value="Office Bldg Light"/> <input type="text" value="Office Bldg Equip"/> <input type="text" value="Office Infil Quarter On"/>	<input type="text" value="Office Activity"/>

Figura 21: Cargas por tipo de espacio

Aquí se puede ver, de manera resumida, todas las características que conciernen a las cargas del local. La ventaja, en este punto, es que la información al estar de forma condensada, es más fácil de ver sin tener que estar moviéndose de una ventana a otra.

4.7 Instalaciones

En este apartado se caracterizan las instalaciones auxiliares presentes en el edificio. La primera pestaña de este apartado es una definición general del edificio, donde podemos ponerle nombre y algunas características constructivas, como es la altura entre el suelo y el techo de cada planta o entre suelo y suelo, además podemos indicar en número de plantas y el número de locales, o viviendas, por planta. Un parámetro muy importante en esta pestaña es la orientación que presenta el edificio con respecto al norte. En nuestro caso, tal y como lo se ha modelizado en Sketchup, la desviación es de 135°, tomando como referencia el eje de las ordenadas.

El siguiente punto son las plantas del edificio, aquí se nos muestra un resumen de cada planta y algunas características, como es su color de visualización, la altura o el tipo de construcción al que pertenecen.

La siguiente pestaña, véase Figura 22, muestra, de forma conceptual, los objetos que intervienen en el sombreaje del edificio. En este caso, la información está directamente importada del modelo de Sketchup y lo define mediante superficies.

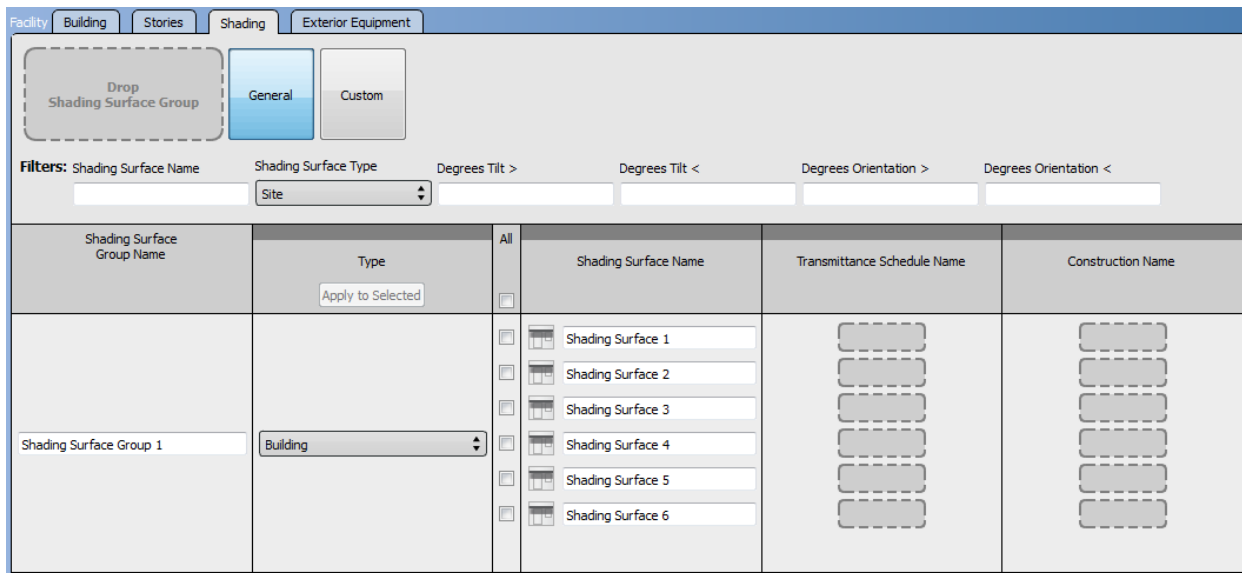


Figura 22: Sombreaje por elementos externos

Finalmente, la última pestaña corresponde a equipamiento exterior. Normalmente, en este punto se definen los equipos de iluminación externos al edificio, es decir, la iluminación de la vía urbana, o bien, si el edificio está iluminado externamente por focos. Nuestro caso no contempla este tipo de iluminación por lo que lo dejamos a título informativo.

4.8 Espacios

En este apartado se realiza una descripción minuciosa de los espacios. En primer lugar se ordenan los espacios por pertenencia a una planta y una zona térmica determinada y a su vez para cada espacio se caracteriza su tipo de construcción y su horario por defecto. A su vez, se puede indicar si se quiere o no que dicho espacio forme parte del área total del edificio o no.

El siguiente punto hace referencia a las cargas que tiene asignadas cada espacio, la descripción engloba las cargas de iluminación, ocupación, equipamiento, infiltración, y todos sus horarios asociados

Los siguientes puntos son puramente descriptivos. Hacen referencia a todas las superficies, sub-superficies y particiones interiores con todas las características asociadas a cada uno de estos elementos.

Donde sí nos vamos a detener, será en el sombreaje de las ventanas. El Edificio Picasso fue concebido pensando en poder incorporar un sistema automático de sombras en las ventanas, de manera que cuando la radiación incidente en las ventanas fuera muy alta, se desplegaran automáticamente una serie de persianas enrollables. OpenStudio también contempla esta opción, dentro de la pestaña Sub-Superficies, se encuentra un botón para el control de sombras. Entrando en este apartado, encontramos variedad de posibilidades de configuración del sistema de sombreaje. Podemos aplicar sombras del tipo de persiana exterior, interior o intermedia en una ventana, pantallas, sombras, elementos para redireccionar la luz o cristal fotosensible.

Space Name	All	Subsurface Name	Parent Surface Name	Shading Control	Shading Type	Shading Control Type	Schedule Name
	<input type="checkbox"/>			Apply to Selected			
	<input type="checkbox"/>	Puerta 64	Surface 57				
Space 1	<input type="checkbox"/>	Ventana 65	Surface 60	Shading Control 1	ExteriorBlind	OnIfHighSolarOnWindow	SOMBRAS

Figura 23: Definición de sombras

Las medidas que se pueden tomar para el control de estas sombras son cuatro: siempre encendido, siempre apagado, encendido si hay alta radiación sobre la ventana, encendido si el horario lo permite. Además de esto se puede definir un horario especialmente para las sombras y designar el periodo horario de funcionamiento o configurarlo para que en verano se tenga sombra y en invierno no.

En la siguiente imagen se pueden contemplar con claridad el sistema empleado de sombras en el

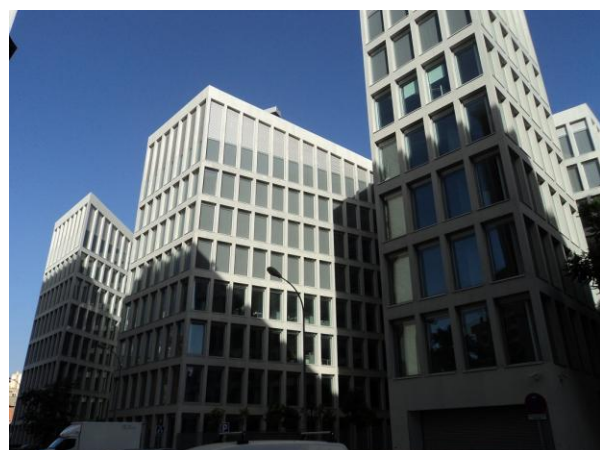


Figura 24: Sombreado automático en ventanas

edificio, en el cual se ve una zona iluminada por el sol y otra cubierta por una sombra. El sistema de sombreaje no es para cada ventana individual sino que está repartido por sectores.

4.9 Zonas Térmicas

Las zonas térmicas son un conjunto de espacios que comparten el mismo sistema de acondicionamiento de aire. Este conjunto puede estar formado por un espacio o más espacios y está pensado para la organización de los resultados después de la simulación, de manera que según nuestros criterios, veremos los resultados para un espacio, un conjunto de espacios o incluso una planta entera. La designación de zonas térmicas es un requisito indispensable antes de diseñar el sistema de climatización, ya que éstas se introducirán en el mismo sistema como bloque, en caso contrario, no podremos ejecutar la simulación, dicho de otro modo, no se pueden asignar espacios creados como espacios a climatizar.

Nuestro criterio para la selección de zonas térmicas ha sido basado en dos aspectos, la distribución del edificio y la utilización de los espacios. De esta forma quedan separadas las zonas térmicas para cada ala del edificio y para cada uso, es decir; los pasillos, ascensores, escaleras y otros espacios, quedan diferenciados de las oficinas o las conferencias, y además, no se tendrán en cuenta para la climatización.

En la siguiente figura, se puede ver, en distintos colores, la separación de zonas térmicas antes mencionada:

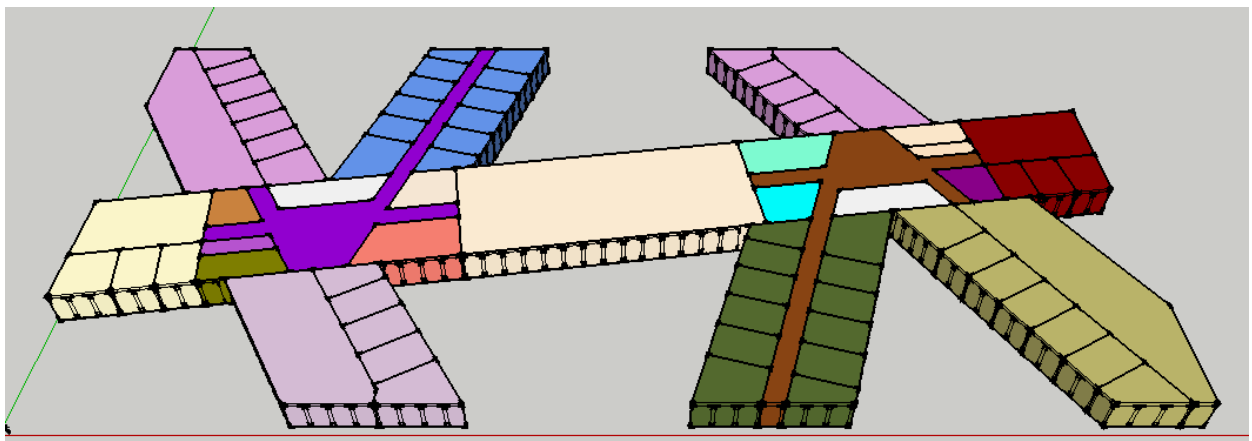


Figura 25: Separación por Zonas Térmicas

En este apartado, se deben especificar los parámetros para los sistemas de climatización referentes a cada zona térmica. Para cada zona deberemos asignar el “Termostato” para refrigeración y calefacción, que se corresponderá con el horario de refrigeración y el de calefacción, y los valores de consigna de humidificación y deshumidificación, que serán: Humedad relativa del 45% para humidificación y humedad relativa del 60% para deshumidificación. Estos valores marcan el rango de humedad donde se debe encontrar el local durante el periodo de climatización.

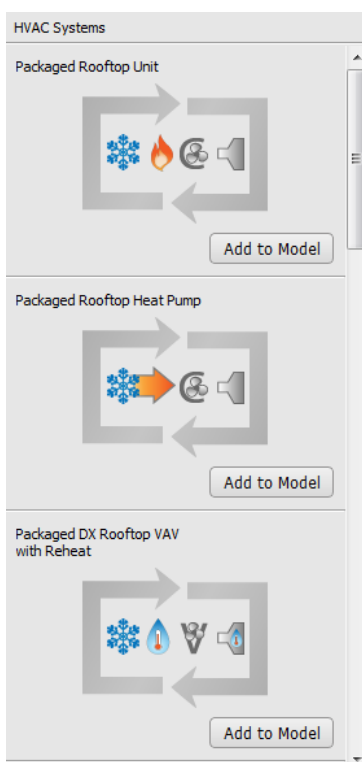
En este apartado, hay otras dos pestañas que se corresponden con los parámetros de refrigeración y calefacción. Más concretamente, se tienen parámetros como temperatura de servicio de aire frío y caliente, caudales mínimos y máximos, método de flujo y ratios. En nuestro caso se ha dejado la configuración por defecto y en todo caso actuaremos sobre el sistema de climatización.

4.10 Sistema de climatización real

El Edificio Picasso está dotado con un sistema de climatización tipo VRV de la marca Daikin, tal y como se ha descrito anteriormente. En este apartado se realiza una explicación detallada de la caracterización del sistema de climatización.

OpenStudio permite la configuración de distintos tipos de climatización y abarca una gran cantidad de elementos predefinidos, con lo cual nos ofrece muchas posibilidades y combinaciones.

El diseño del sistema de climatización se puede hacer de tres formas distintas: en base a una plantilla, definiendo un sistema de refrigeración o definiendo un sistema VRF (Variable Refrigerant Flow). A parte de estos elementos, permite también el diseño de un sistema de agua caliente.



Dentro de las plantillas disponibles, se tienen configuraciones como unidad rooftop del tipo bomba de calor [13], con caudal de aire constante; otra configuración posible es aportando calor mediante gas natural en una caldera, se pueden tener unidades difusoras con recalentamiento o sin, unidades de caudal de aire variable y otras muchas configuraciones. Además de los sistemas predefinidos, se disponen de plantillas vacías del tipo: lazo de aire y lazo de planta (para agua o refrigerante).

La otra manera de insertar un sistema de climatización es mediante la opción de sistema de refrigeración. Este método tiene una configuración parecida a la anterior pero es más sencilla y no permite tanta flexibilidad.

De momento, no usaremos los métodos anteriormente descritos y nos centraremos en la definición del sistema VRV, presente en el edificio real.

Figura 26: Plantillas de sistemas de climatización

Para nuestro sistema VRV vamos a hacer las siguientes consideraciones:

- Se han tomado los datos reales de los equipos.
- En lugar de poner el número real de unidades interiores para cada zona térmica, pondremos una sola unidad interior de potencia equivalente.

De esta manera se simplifica la introducción de datos en OpenStudio y en lugar de tener que introducir una unidad terminal para cada local, se introducirá una sola unidad terminal para cada zona térmica. De la otra manera habría que definir las características de 576 unidades terminales. En nuestro caso se definirán las características de 11, que son el número de zonas térmicas a climatizar.

En la Tabla 12 se muestran los diferentes equipos VRV instalados en el edificio, sus potencias nominales y el número de equipos por zona térmica que hay instalados.

	ATI.01	ATI.02	ATI.03	ATI.04	ATI.05	ATI.06	ATI.07	ATI.08	ATI.09	ATI.10
Pot. Elect (kW)	1.465	1.294	0.321	0.242	0.234	0.189	0.143	0.127	0.114	0.11
Pot. Frio (kW)	28	22.4	14	11.2	9	7.1	5.6	4.5	3.6	2.2
Pot. Calor (kW)	31.5	25	16	12.5	10	8	6.3	5	4	2.5
ALA NORTE		1			1		2			
ALA NOR-ESTE			3			1			6	
ALA NOR-OESTE			1	1	1	1	2		1	
ALA ESTE			3		1	1			3	
ALA OESTE				4		1	3			
ALA SUR		1				1			2	
ALA SUR-ESTE			1	2		1		2	1	
ALA SUR-OESTE					4		6			
CONF. NORTE							1			
CONF. SUR							1			
NAVE CENTRAL				4	1				7	
TOTAL:	0	2	8	11	8	6	15	2	20	0

Tabla 12: Unidades VRV instaladas en una planta

Para simplificar los cálculos se ha condensado toda esta información para una sola unidad por zona térmica y definiremos su potencia equivalente. La tabla siguiente corresponde a las unidades VRV presentes en una sola planta.

	Num. Uds.	Pot. Elec. (kW)	Pot. Frio (kW)	Pot. Calor (kW)
ALA NORTE	4	1.814	42.6	47.6
ALA NOR-ESTE	10	1.836	70.7	80
ALA NOR-OESTE	7	1.386	56.1	63.1
ALA ESTE	8	1.728	68.9	78
ALA OESTE	8	1.586	68.7	76.9
ALA SUR	4	1.711	36.7	41
ALA SUR-ESTE	7	1.362	56.1	63
ALA SUR-OESTE	10	1.794	69.6	77.8
CONF. NORTE	1	0.143	5.6	6.3
CONF. SUR	1	0.143	5.6	6.3
NAVE CENTRAL	12	2	79	88

Tabla 13: Unidades interiores VRV y potencias para una planta

De la misma forma podemos construir una tabla para el edificio entero considerando las mismas zonas térmicas. En este caso las potencias de los equipos se verán multiplicadas por 8, a efectos de simplificación del sistema VRV en OpenStudio.

En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes a las unidades interiores para el edificio entero.

	Num. Uds.	Pot. Uds. (kW)	Pot. Frio (kW)	Pot. Calor (kW)
ALA NORTE	32	14.512	340.8	380.8
ALA NOR-ESTE	80	14.688	565.6	640
ALA NOR-OESTE	56	11.088	448.8	504.8
ALA ESTE	64	13.824	551.2	624
ALA OESTE	64	12.688	549.6	615.2
ALA SUR	32	13.688	293.6	328
ALA SUR-ESTE	56	10.896	448.8	504
ALA SUR-OESTE	80	14.352	556.8	622.4
CONF. NORTE	8	1.144	44.8	50.4
CONF. SUR	8	1.144	44.8	50.4
NAVE CENTRAL	96	16	632	704

Tabla 14: Unidades VRV para todo el edificio

Para simplificar la simulación en OpenStudio y el coste de introducción de datos, se procederá a introducir una única unidad VRF para cada zona, con la potencia equivalente. De esta forma, solamente habrá que introducir once unidades VRF. Dado que el edificio realizado en OpenStudio no será exactamente igual en cuanto a demanda y consumo de energía, seleccionaremos el dimensionado automático de estos equipos y luego compararemos con los que hay instalados en el edificio real. Lo que sí mantendremos como dato será el COP de las unidades VRF, en este caso de 2,98.

En la siguiente figura se pueden ver algunas unidades VRF. Entrando en cada uno de estos subsistemas podremos configurar las características de cada uno de los componentes que conforman la unidad. Asimismo podemos asignar más de un terminal por unidad y más de una zona térmica.

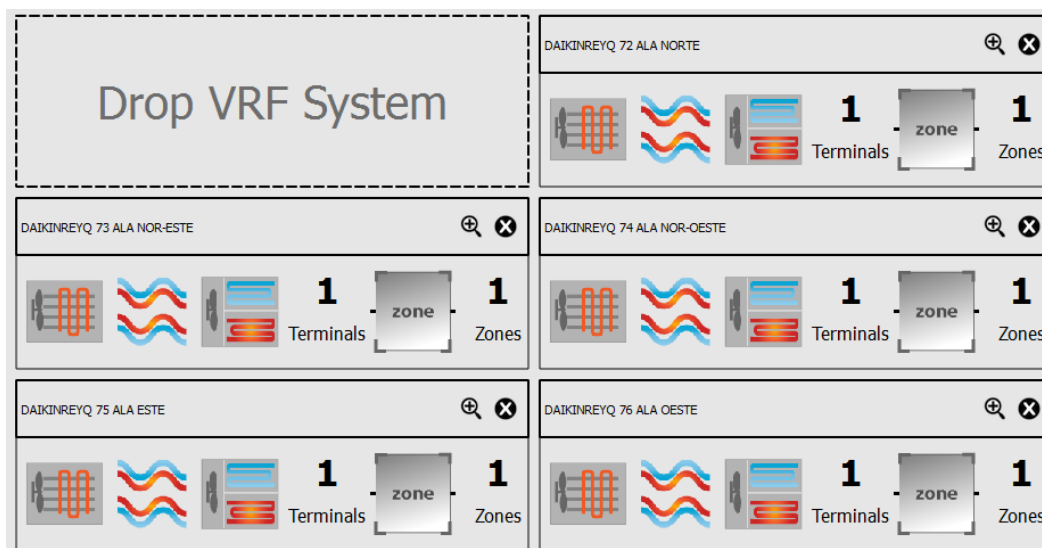


Figura 27: Caracterización del sistema VRF

4.11 Variables de salida, configuración de simulación y medidas a adoptar

El siguiente paso que se nos presenta es una ventana de selección de las **variables de salida** que se quieren visualizar al finalizar la simulación. Para ello se nos ofrece una larga lista variables. Cada una de estas posibles salidas tiene asociado un botón ON/OFF, con el cual se puede seleccionar la variable de salida. Tenemos variables del tipo temperatura, humedad, ganancias térmicas, balances energéticos, consumos, infiltración y radiación entre otros.

Antes de realizar la simulación, es posible **configurar** unos parámetros que marcarán la rapidez, precisión y modo de simulación. Dichos parámetros vienen determinados por defecto, pero se pueden modificar según nuestros intereses. El primer parámetro es el periodo de simulación, como valores por defecto, la simulación se realiza del 1 de Enero al 31 de Diciembre, pero se puede cambiarlo para el periodo que deseemos.

Luego se puede indicar la precisión en el tiempo indicando los pasos en una hora. Por defecto vienen 6 pasos por hora, que corresponde a un muestreo de 10 minutos. En nuestro caso se ha cambiado este valor a 4 para que la simulación sea un poco más rápida.

Otro punto importante en la configuración es el control de la misma. Aquí es donde se puede indicar que se haga un dimensionamiento por zonas o por sistemas, y además se puede indicar con qué precisión de temperatura se desea que nos dé el resultado. Este punto es importante, por que a veces la simulación no converge en una solución y modificando la tolerancia podemos conseguir que sí converja. Asociado a esto, tenemos el número máximo de iteraciones, cuanto mayor sea este valor, es más seguro que tengamos un resultado en caso de no obtenerlo en una simulación anterior. Este parámetro toma importancia cuando mayor es el tamaño del edificio y de las instalaciones a simular. De la misma forma hay un parámetro que se llama “*Number of Warmup Days*” que tiene una función parecida a la de las iteraciones, de forma que cuanto mayor sea este valor, más probable sea que se obtenga un resultado que ha convergido correctamente. Por lo general si el edificio no es muy grande, la solución siempre converge, en caso contrario hay que modificar los parámetros anteriormente descritos.

Además de estos parámetros, hay otros que se emplean para elegir el método usado en la radiación solar, el cálculo de sombras, los balances de calor o de concentración de contaminantes (CO₂) entre otros.

En cuanto a las **medidas**, existe una conocida como “*remove orphan objects and unused resources*” que es de gran utilidad, véase Figura 28. Hay veces que se producen errores debido a elementos constructivos que no están bien caracterizados o no tienen ninguna relación con nuestro modelo. Esta herramienta sirve para quitar todos aquellos elementos que no cumplen los requisitos antes descritos. En este grupo se engloban elementos como superficies que no pertenecen a ningún espacio, superficies de Sketchup que no pertenecen a OpenStudio y todos aquellos materiales y construcciones que no se usan en ningún elemento del modelo. Esta medida puede que no esté disponible en OpenStudio; la manera de obtenerla es accediendo a la página de NREL (<https://bcl.nrel.gov>) donde se pueden descargar las medidas del tipo “*Building Component Library*”. Gracias a esta herramienta se pueden solucionar automáticamente muchos errores relacionados con las características constructivas.

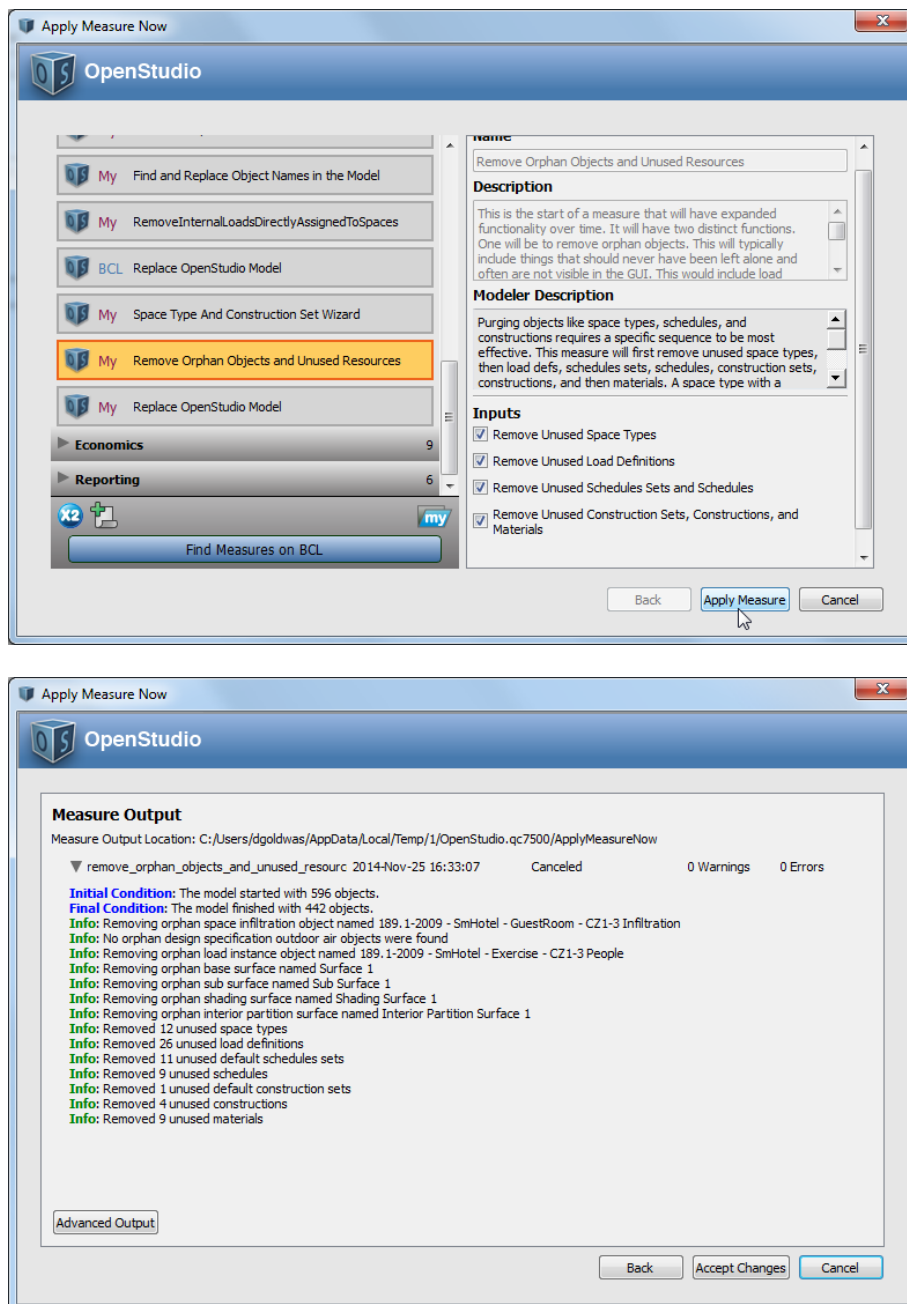


Figura 28: Remove orphan objects and unused resources

5 SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos en distintas simulaciones; la primera, correspondiente al edificio real y la segunda y la tercera en las que se tendrán en cuenta las propuestas de mejora.

Una vez que se ha caracterizado todo el edificio y se ha configurado el modo de simulación, se procede a simular nuestro modelo. Como suele suceder la primera vez que se simula el edificio, aparecen diferentes errores. El origen de estos errores puede ser muy diverso. Uno de ellos, el que está causado por la incompatibilidad de los elementos constructivos, ya lo se ha descrito en el apartado anterior, la solución es aplicar la medida “*remove orphan objects and unused resources*”.

Además de estos errores, se pueden tener otros como que en algún lazo no hemos puesto un *setpoint* para la temperatura o bien, que hace falta un ventilador o una bomba en esos lazos, etc.

Cuando el sistema es muy grande, la simulación es más lenta y además la convergencia se hace más complicada. Para solventar esto, hay que dirigirse a la tolerancia de los resultados y al número máximo de iteraciones permitidas así como el número máximo de “*warmup days*”. Este tipo de errores no es tan importante como los anteriores, ya que una vez resueltos se puede comprobar que los resultados de la simulación con o sin error, son bastante parecidos.

Una vez resueltos los errores, se puede simular nuestro modelo y visualizar los resultados.

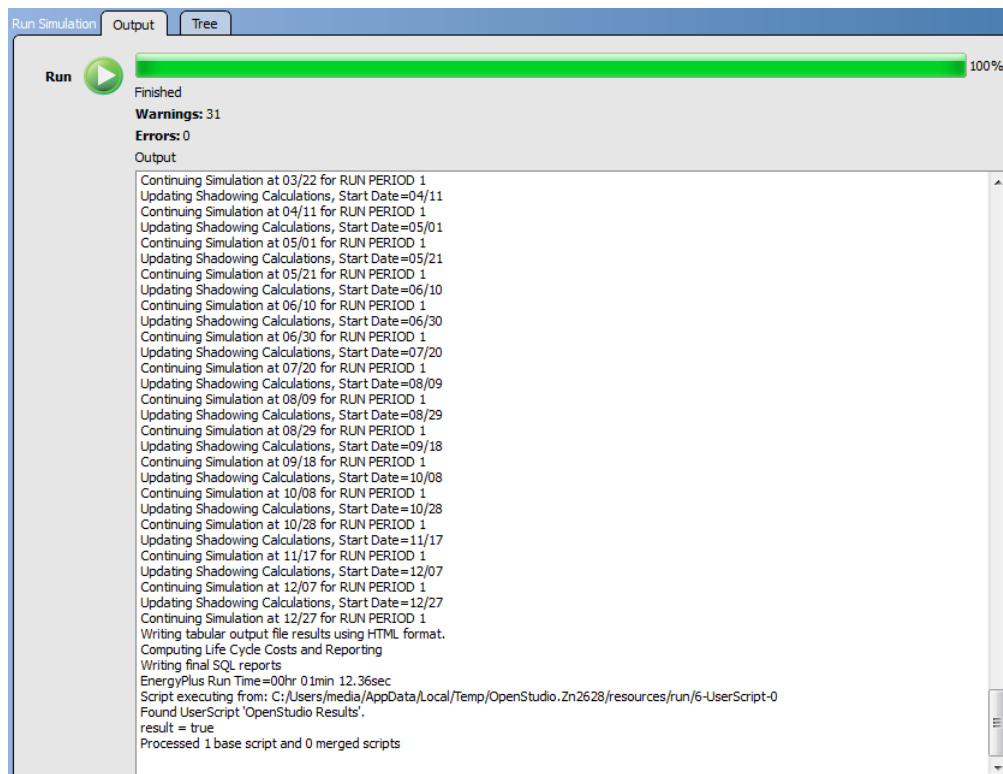


Figura 29: Simulación en OpenStudio

5.1 Resultados para el edificio real

Una vez se ha completado la simulación, se puede visualizar los resultados de dos modos distintos; uno es mediante el visor de resultados de OpenStudio, el cual ofrece un resumen con gráficas ilustrativas sobre los resultados y el otro modo de ver los resultados es haciendo uso del visor de resultados de EnergyPlus, también llamado Results Viewer. En este visor es posible tener una información mucho más detallada de los resultados, como por ejemplo, la temperatura de una zona térmica determinada durante todas las horas que componen un año, así como humedad relativa o absoluta y otros parámetros que podemos elegir desde la configuración de variables de salida.

En primer lugar se hace un resumen de la información del edificio: nombre, consumo eléctrico, área acondicionada, kWh/m² y tipo de construcción.

Nombre del edificio	EDIFICIO PICASSO
Energía neta	2.462.793,24 kWh
Área edificada	21.584,52 m ²
Consumo/m²	114,1 kWh/m ²
Tipo de construcción	Oficina

Tabla 15: Información general del edificio

Luego se hace un resumen de las características geográficas y meteorológicas del emplazamiento, lo cual ya ha estado descrito anteriormente.

5.1.1 Distribución de consumos

A continuación se muestra la distribución de los consumos sobre el total de energía eléctrica consumida por el edificio en un año. A la vista de los resultados se puede decir que la distribución de consumos se encuentra en la media de edificios de oficinas presentes alrededor del mundo, es decir, que el consumo en climatización esté alrededor del 40% del consumo total de energía eléctrica. En nuestro caso, la distribución se reparte de la siguiente forma:

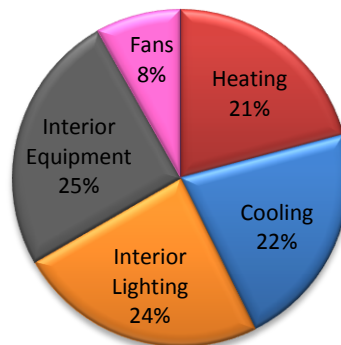


Figura 30: Distribución de consumos en el edificio real

Los valores correspondientes a la gráfica anterior, se ven reflejados en la siguiente tabla:

Consumo anual en KWh	
Calefacción	513.954,79
Refrigeración	536.184,94
Iluminación	592.919,44
Equipamiento	619.978,33
Ventilación	199.755,72
TOTAL	2.462.793,24

Tabla 16: Consumo anual en función de la tecnología

Para ver en qué estado se sitúa nuestro edificio de entre los que existen en el mundo, lo vamos a comparar con otros que han sido evaluados energéticamente, véase Figura 31. En este caso el modo de comparación es en base al consumo en climatización frente al consumo total de energía eléctrica. Según el valor de ese ratio, veremos dentro de qué grupo pertenece nuestro edificio.

El consumo de refrigeración y calefacción sumados hacen 1.050.139,73 kWh, por lo tanto 1.05 millones de kWh al año. El consumo total del edificio son 2.46 millones de kWh al año. El punto verde indica que nuestro edificio se encuentra en la zona donde el consumo del edificio en electricidad es aproximadamente igual al consumo en climatización. Por lo que podemos decir que nuestro edificio se encuentra dentro de los valores promedio de los edificios existentes [20].

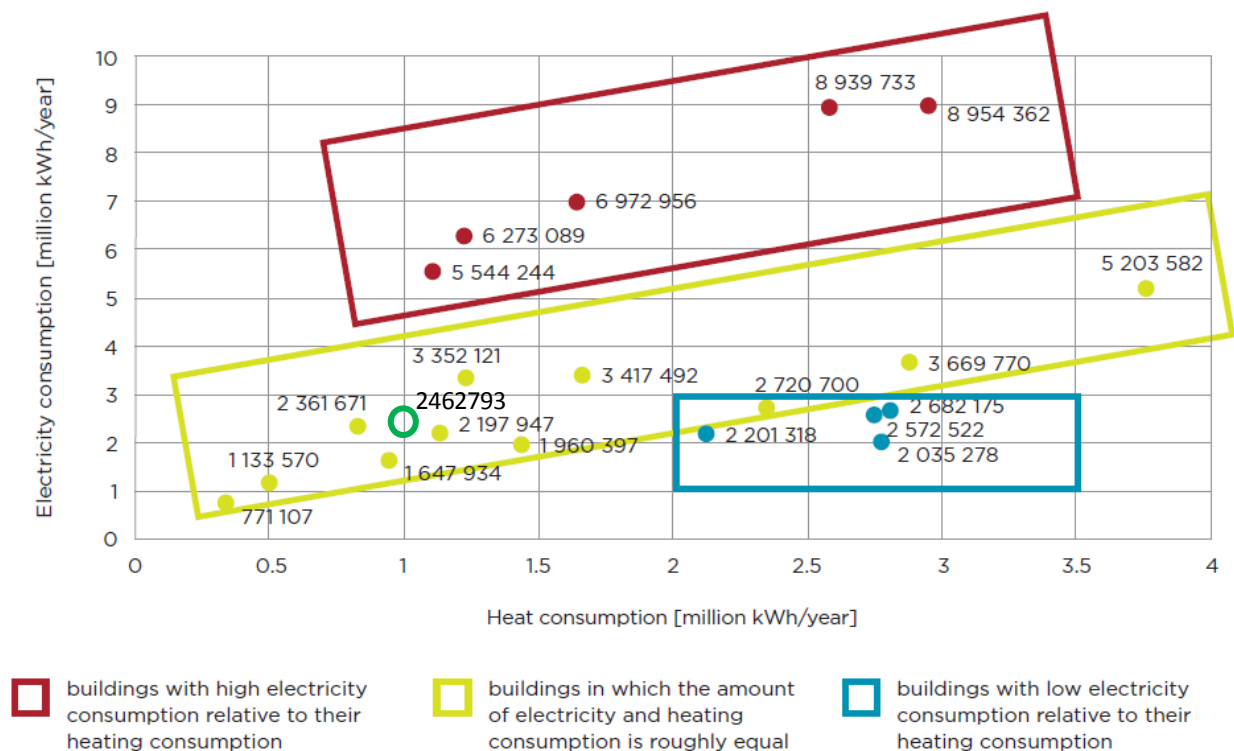


Figura 31: Ubicación energética del Edificio Picasso

5.1.2 Origen de los recursos energéticos

Un apunte a considerar es que la satisfacción de la demanda, no solamente puede provenir de energía eléctrica, sino que también puede venir de otras fuentes energéticas como el gas natural, diesel, gasolina e incluso mediante el aporte de calor o frío desde el exterior del edificio, lo que se llama calefacción de distrito o refrigeración de distrito. En nuestro caso, toda la demanda se suple mediante energía eléctrica.

5.1.3 Consumo mensual

Desgranando el consumo anual por tecnología en cada mes del año, se puede ver en la Figura 32, en qué periodos toma importancia cada uno de los sistemas energéticos. En nuestro caso se tiene un consumo base proveniente de iluminación, equipamiento interior y ventilación, los cuales son aproximadamente constantes durante todo el año. Luego está el consumo de refrigeración, el cual toma importancia durante los meses de verano y el de calefacción, predominantemente presente en los meses de invierno como es de esperar.

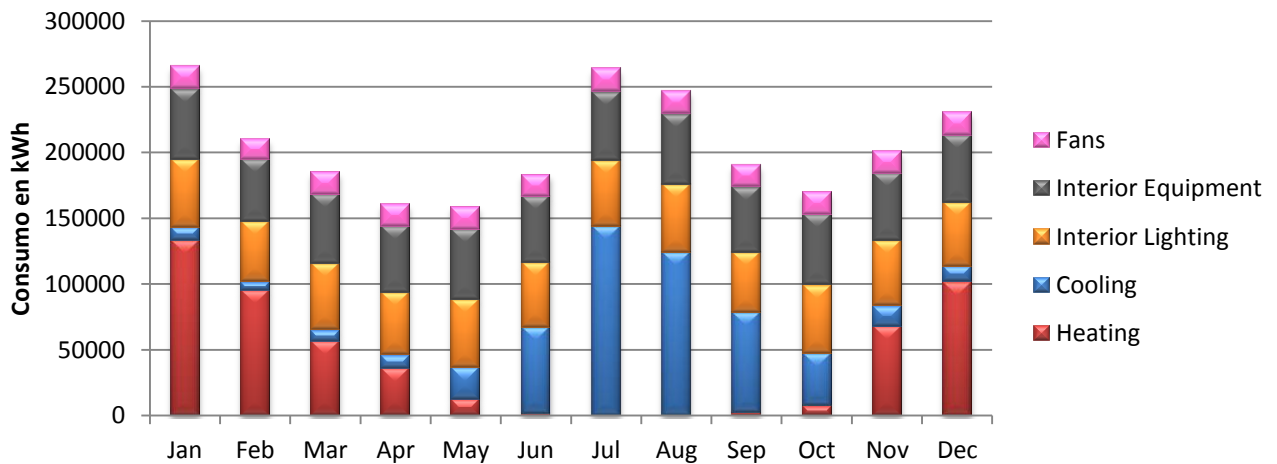


Figura 32: Consumo en kWh por tecnología

Uso final	Consumo (kWh)
Calefacción	513.956
Refrigeración	536.186
Iluminación interior	592.919
Equipamiento interior	619.978
Ventilación	199.756

Tabla 17: Uso final de la energía

5.1.4 Picos de demanda

Otra forma de ver la implicación de cada sistema energético es mediante su pico de demanda mensual, lo cual reflejará el tamaño de los distintos equipos. Para el caso de que se trate de un edificio existente, estos valores se pueden contrastar con los valores de la instalación real, y en caso de ser un edificio de nueva construcción, nos puede servir para dimensionar los equipos de refrigeración y calefacción. Para el caso del dimensionamiento, habría que tomar el valor máximo de cada uno de los dos modos de climatización de entre

todos los picos de demanda del año.

En nuestro caso la potencia máxima que se requiere para el régimen de refrigeración es de 521,98 kW eléctricos y para el caso de la calefacción este valor es de 432,21 kW. Comparando estos valores con los datos de la instalación real, vemos que para refrigeración, tenemos instalados 392,52 kW y para calefacción 366,41 kW. Esta desviación se debe a que el edificio que hemos modelado no será nunca exactamente igual al real en términos energéticos y además, nosotros hemos considerado 8 plantas iguales, cuando en realidad son distintas. Esto nos puede indicar un límite superior en cuanto a potencia instalada.

En el siguiente gráfico se muestran los picos de demanda representativos para cada mes del año.

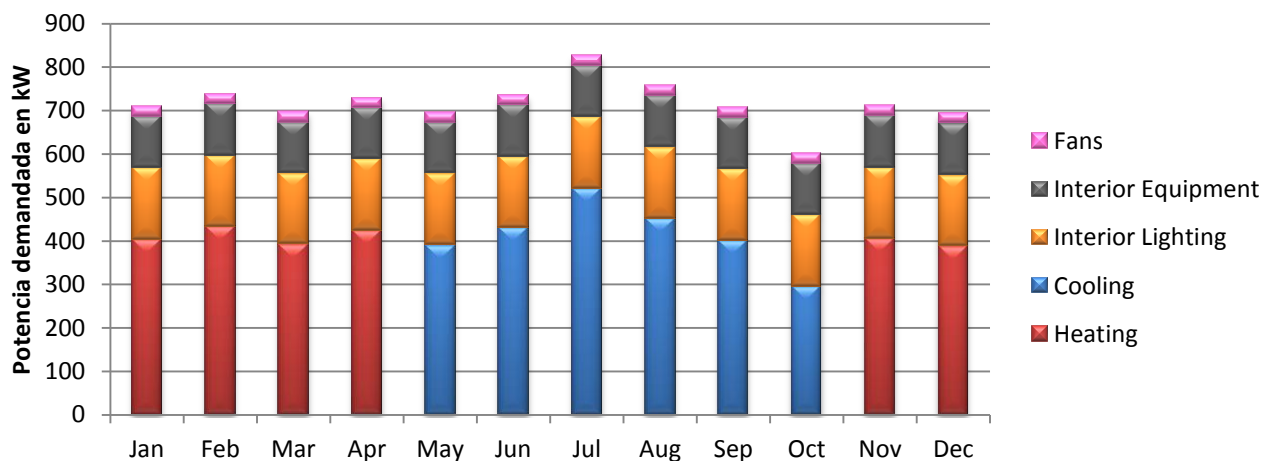


Figura 33: Picos de demanda en kW por tecnología

Picos de demanda	Potencia kW
Calefacción	432,2
Refrigeración	521,9
Iluminación interior	164,9
Equipamiento interior	117,6
Ventilación	22,8

Tabla 18: Picos de demanda para el edificio real

5.1.5 Consumo del sistema de climatización

El punto de mira de muchos análisis energéticos, se centra en el sistema de climatización ya que éste influye en gran medida en el consumo de energía eléctrica del edificio. Para el diseño de nuevos edificios, se pretende que este consumo sea lo más pequeño posible ya sea porque la envolvente del edificio permite un aislamiento de los flujos de calor no deseados o porque parte, o la totalidad de esa demanda se satisface con energías renovables. En este caso vamos a mostrar los resultados obtenidos para el edificio real y más adelante, con las propuestas de mejora, veremos la posibilidad de reducir esta demanda.

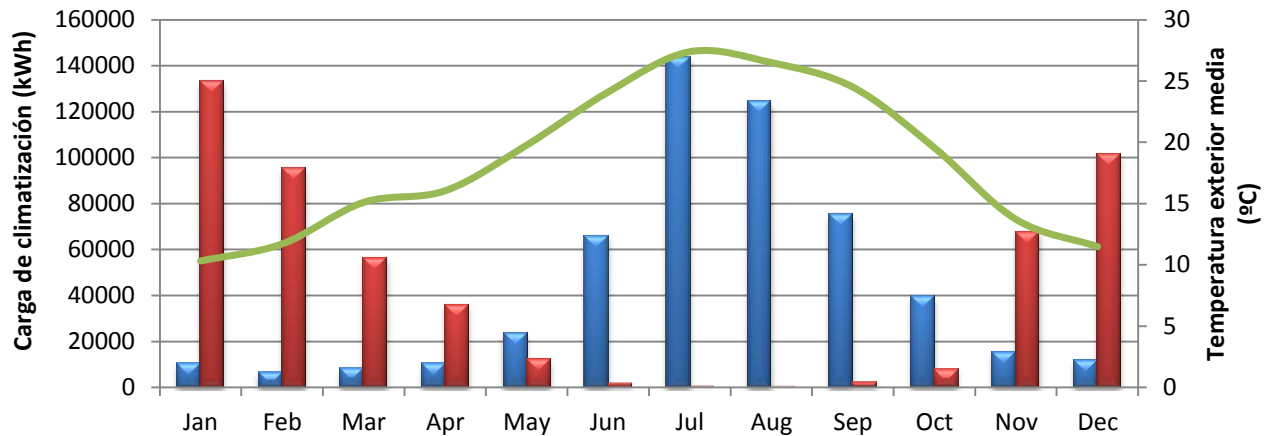


Figura 34: Perfiles de carga del sistema de climatización

5.1.6 Condiciones de temperatura

Un modo de ver las condiciones internas del local, y con ello el correcto funcionamiento de los sistemas de climatización es viendo la temperatura a la que se encuentra el local, véase Tabla 17. En este caso se muestra una tabla con el número de horas en que el local se encuentra en ese rango de temperaturas.

Zona	< 13.3 °C	13.3-16.1 °C	16.1-18.8 °C	18.8-20 °C	20-21.1 °C	21.1-22.2 °C	22.2-23.3 °C	23.3-24.4 °C	24.4-25.5 °C	25.5-28.3 °C	28.3-31.1 °C	>= 31.1 °C	Temp. °C
ALA ESTE	3	861	1021	433	1887	771	689	1781	498	795	21	0	21.50
ALA NOR-ESTE	17	1230	862	434	1915	639	637	1251	765	911	98	1	21.22
ALA NOR-OESTE	15	1179	860	427	1891	645	667	1290	780	918	87	1	21.28
ALA NORTE	10	1143	848	422	1893	636	697	1304	814	920	72	1	21.33
ALA OESTE	7	1088	888	417	1939	642	651	1366	812	890	60	0	21.33
ALA SUR	15	1163	862	422	1873	640	701	1278	800	922	83	1	21.28
ALA SUR-ESTE	15	1174	869	420	1915	634	670	1274	785	916	87	1	21.28
ALA SUR-OESTE	17	1231	861	433	1916	644	630	1252	766	913	96	1	21.22
ALMACEN NORTE	0	0	2	264	1071	1678	1370	1306	1208	1861	0	0	23.44
ALMACEN SUR	0	0	6	318	1116	1659	1348	1274	1204	1835	0	0	23.39
ASCENSORES	0	0	0	75	627	1296	1552	1367	1266	2489	88	0	24.11
BAÑO CENTRO-NORTE	0	0	0	0	59	301	267	456	786	2798	3061	1032	27.83
BAÑO CENTRO-SUR	0	0	0	0	15	192	362	587	778	2872	3002	952	27.78
BAÑO NORTE	0	0	0	3	87	304	405	675	880	3000	2651	755	27.33
BAÑO-SUR	0	0	0	0	1	132	369	568	915	3380	2855	540	27.50
CONFERENCIA NORTE	85	1369	795	706	1676	619	701	915	813	934	140	7	21.00
CONFERENCIA SUR	86	1369	796	700	1683	624	698	914	812	928	143	7	21.00
ESCALERA NORTE	0	0	267	877	1326	1222	1160	1136	1023	1737	12	0	23.00
ESCALERA SUR	0	0	384	948	1312	1179	1152	1082	1040	1656	7	0	22.83
NAVE CENTRAL	15	1183	874	444	1914	629	641	1283	753	929	94	1	21.28
PASILLO NORTE	0	0	42	428	926	1331	1374	1194	1139	2270	56	0	23.67
PASILLO SUR	0	0	46	456	928	1305	1360	1177	1148	2271	69	0	23.67

Tabla 19: Distribución de temperaturas

A partir de los resultados anteriores se pueden establecer varias conclusiones; en primer lugar, se pueden reconocer dos periodos de funcionamiento distintos, el de verano y el de invierno. Para verano la temperatura de consigna se encuentra en los 24 °C de modo que buena parte de las horas de funcionamiento se debe encontrar dentro de ese rango. De la misma forma, para invierno la temperatura de consigna se encuentra en los 21 °C. El resto de valores corresponden a los distintos límites fuera del periodo ocupado del edificio, para verano el límite superior está en 26.7 °C y en invierno el límite inferior está en 15.6 °C. El resto de valores pueden corresponder a periodos donde no está establecida la climatización, como es el caso de los periodos vacacionales. Por último señalar que las zonas térmicas no climatizadas, no tienen ninguna consigna de temperatura y por esto la mayor parte de las horas se encuentra fuera de los rangos de confort.

En la última columna se muestra la temperatura media de la zona térmica a lo largo del año.

Para ver al detalle las condiciones de temperatura durante el tiempo de simulación, se puede hacer uso de la herramienta de visualización de gráficos de Results Viewer. A continuación se muestra para el ALA ESTE, como ejemplo, las condiciones térmicas durante un periodo de invierno, en este caso del 8 al 18 de Enero.

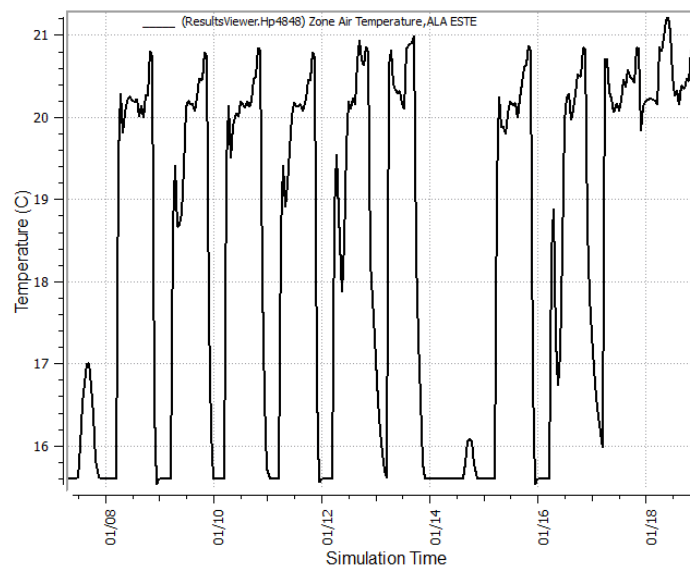


Figura 35: Condiciones internas de temperatura en invierno

Como se puede ver en la gráfica anterior, la temperatura se comprende entre los 15,6 y los 21 °C. Los dos días que la temperatura queda por debajo de 17 °C corresponde a domingo, en el cual no hay calefacción, solamente se mantiene la temperatura por encima de los 15,6 °C al igual que ocurre el resto de días, en los cuales esos valles corresponden a las horas nocturnas. Si la temperatura está por encima de los 21 °C es que las ganancias externas de calor son suficientes como para que no funcione la calefacción. En caso de que esas ganancias sean muy grandes, entrará en juego la refrigeración.

En el caso de verano, podemos ver el comportamiento análogo de las temperaturas del local. Solamente indicar que en verano el horario de trabajo se definió a media jornada, por lo que los periodos de refrigeración son más cortos. Los picos de temperatura se dan en los fines de semana ya que entonces no hay refrigeración.

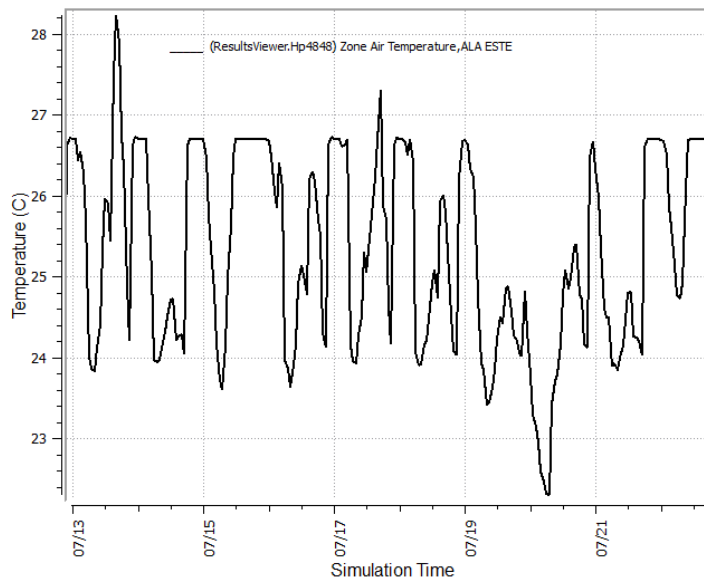


Figura 36: Condiciones internas de temperatura en verano

5.1.7 Ventilación

Para garantizar la calidad del aire del local, se debe ventilar. Como ya se describió anteriormente, la ventilación del local se hace en función de su número de ocupantes y de su actividad. Con los valores introducidos en la caracterización de la ocupación y sabiendo el volumen de los locales, el programa calcula los requerimientos de ventilación. Es habitual mostrar los resultados como “ach” lo cual significa en inglés *air changes per hour*, lo que indica cuantas veces se renueva el volumen de aire del local en una hora.

Los resultados de la siguiente tabla se muestran para el edificio entero, con lo cual se tienen en cuenta las ocho plantas del edificio

Zona	Nº Ocupantes	Volumen (m ³)	Ventilación (ach)	Min. Vent. (ach)	Infiltración (ach)
ALA ESTE	399	5521.55	3.71	2.48	0.11
ALA NOR-ESTE	512	7112.25	3.71	2.48	0.09
ALA NOR-OESTE	349	4858.71	3.71	2.48	0.10
ALA NORTE	237	3302.33	3.71	2.48	0.13
ALA OESTE	397	5521.55	3.71	2.48	0.11
ALA SUR	237	3297.01	3.71	2.48	0.10
ALA SUR-ESTE	352	4894.39	3.71	2.48	0.10
ALA SUR-OESTE	509	7076.59	3.71	2.48	0.09
CONFERENCIA NORTE	111	1055.74	4.72	3.65	0.07
CONFERENCIA SUR	111	1055.74	4.72	3.65	0.07
NAVE CENTRAL	512	8005.50	3.30	2.21	0.07

Tabla 20: Ventilación de las zonas térmicas

5.1.8 Sombras

OpenStudio permite efectuar un control de sombras sobre las ventanas en caso de que la radiación solar sobre la misma sea elevada, o bien porque se haya definido por el usuario. En nuestro caso hemos elegido un sombreaje exterior que se despliega cuando la irradiación solar sobre la ventana es elevada. Los resultados de la simulación se nos presentan como fracción de luz solar que atraviesa la ventana, comprendida entre 0 y 1. El 0 representa que la ventana está completamente sombreada y el 1, que deja pasar toda la radiación exterior. Entre estos dos valores, se puede dar el caso de cualquier valor intermedio. El resultado dependerá de la orientación de la ventana y también de si se ve afectada por sombras del propio edificio o de sombras de edificios colindantes. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de distintas ventanas y su fracción solar.

	21 Marzo 9:00h	21 Marzo 12:00h	21 Marzo 15:00h	21 Junio 9:00h	21 Junio 12:00h	21 Junio 15:00h	21 Diciembre 9:00h	21 Diciembre 12:00h	21 Diciembre 15:00h
VENTANA 1247	0.01	0.25	0	0.2	0.72	0	0	0	0
VENTANA 1419	0	0	1	0	0	1	0	0.99	0.79
VENTANA 1421	0	0	0.82	0	0	1	0	0.45	0.32
VENTANA 614	0	1	1	0	0	1	0	1	1
VENTANA 1942	0.32	1	0	0.88	1	0	0	0	0

Tabla 21: Sombreaje en ventanas

6 PROPUESTAS DE MEJORA

6.1 Actuación sobre la humedad

Junto a la temperatura, la humedad es la variable que determinará las condiciones de confort dentro del local. En términos generales, se considera aceptable una humedad comprendida entre el 40 y el 60%. Para ello, se han introducido dos medidas de control, una que limitará la humedad en caso de que sobrepase el 60% y la otra es la instalación de equipos de humidificación del aire en caso de que la humedad del local disminuya por debajo del 40%. En nuestro caso, hemos dejado un poco de margen inferior y los equipos de humidificación se pondrán en marcha cuando la humedad del local llegue al 35%. El modo de humidificación se realiza mediante la evaporación directa de agua con una resistencia eléctrica.

La siguiente tabla muestra los valores de humedad en función del número de horas a las que el local se encuentra a lo largo del año.

Zona	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	HR media (%)
ALA ESTE	74	584	978	1294	1514	1510	1714	1092	0	0	0	0	49.1 (%)
ALA NOR-ESTE	162	708	861	1161	1269	1280	1763	1537	19	0	0	0	49.6 (%)
ALA NOR-OESTE	161	716	857	1157	1270	1283	1990	1326	0	0	0	0	49.5 (%)
ALA NORTE	162	729	867	1151	1269	1295	2249	1038	0	0	0	0	49.4 (%)
ALA OESTE	163	736	875	1161	1285	1317	1878	1341	4	0	0	0	49.3 (%)
ALA SUR	161	716	865	1150	1261	1294	2277	1036	0	0	0	0	49.4 (%)
ALA SUR-ESTE	161	707	858	1157	1265	1290	2003	1319	0	0	0	0	49.5 (%)
ALA SUR-OESTE	162	705	863	1161	1267	1282	1772	1529	19	0	0	0	49.6 (%)
ALMACEN NORTE	642	802	1520	2341	1523	1427	436	65	4	0	0	0	42.9 (%)
ALMACEN SUR	634	788	1504	2346	1529	1427	460	67	5	0	0	0	43.0 (%)
ASCENSORES	808	987	2006	2065	1529	1094	241	30	0	0	0	0	41.3 (%)
BAÑO CENTRO-NORTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8757	98.7 (%)
BAÑO CENTRO-SUR	0	14	68	165	259	366	354	216	293	392	485	6148	86.1 (%)
BAÑO NORTE	11	47	165	249	381	428	379	433	454	470	482	5261	82.1 (%)
BAÑO-SUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	8685	98.1 (%)
CONFERENCIA NORTE	181	721	851	1128	1201	1206	2535	937	0	0	0	0	49.5 (%)
CONFERENCIA SUR	182	718	851	1131	1199	1206	2529	944	0	0	0	0	49.5 (%)
ESCALERA NORTE	725	646	1248	1903	1749	1426	737	281	45	0	0	0	44.3 (%)
ESCALERA SUR	683	639	1191	1883	1756	1463	795	302	48	0	0	0	44.7 (%)
NAVE CENTRAL	158	718	875	1160	1285	1285	1820	1447	12	0	0	0	49.5 (%)
PASILLO NORTE	58	134	401	857	1316	1848	1462	1264	1130	285	5	0	54.6 (%)
PASILLO SUR	59	135	404	870	1273	1851	1470	1273	1132	288	5	0	54.5 (%)

Tabla 22: Distribución de humedad

Al igual que el caso de las temperaturas, se pueden distinguir las zonas térmicas climatizadas de las que no lo están ya que su humedad se encuentra entre el 35 y el 60%. En el caso de los baños, la humedad es muy alta porque se definió el uso de agua en esas zonas térmicas, esto es así porque no están climatizadas, luego, haría falta al menos ventilarlos.

Al igual que en el caso de las temperaturas, vamos a ver las condiciones interiores de humedad en el caso de humidificación o deshumidificación.

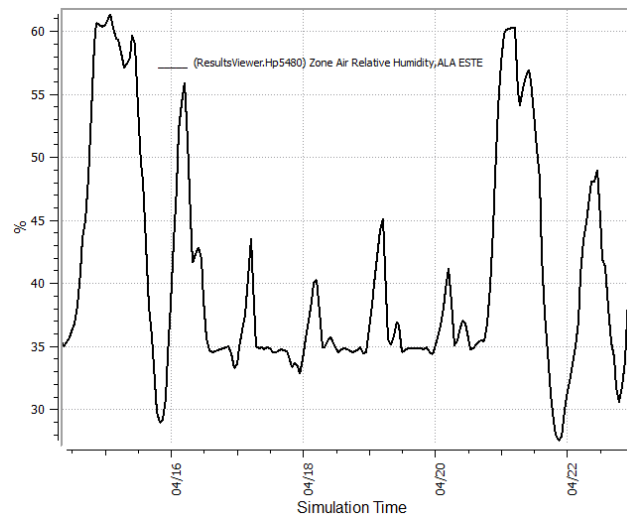


Figura 37: Humidificación al 35%

Como se puede apreciar en la figura anterior, la humedad se mantiene por encima del 35% para los días laborables. Los días en que la humedad queda por debajo del 35% son debidos a que nos encontramos en fin de semana o períodos no laborables. A continuación se muestra el modo de deshumidificación.

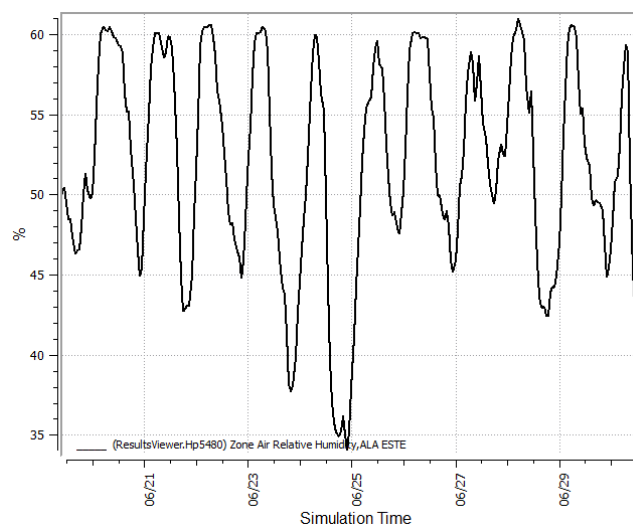


Figura 38: Deshumidificación al 60%

Para el caso en que la humedad sea muy alta, ya sea porque el aire exterior venga bastante húmedo, o bien porque la ocupación del local hace que la concentración de vapor de agua en el aire sea alta, se procede a la deshumidificación del aire. El modo de hacerlo es actuando sobre el serpentín de frío, bajando su temperatura,

para que condense más agua sobre el mismo. Puede darse el caso de que después de condensar el agua, el aire esté demasiado frío y haga falta calentarlo un poco para que las condiciones térmicas sean las adecuadas.

Como resultado de esta actuación, se tendrá un consumo algo mayor en el cómputo total de la energía consumida. Dicho consumo adicional solamente supone un incremento del 1%, lo que se traduce en 29319 kWh añadidos al año. Para poder satisfacer los requerimientos de confort de los locales y dado su volumen, se dimensionan las potencias de estos equipos de tratamiento de la humedad; en total, serán necesarios 124 kW. Este valor debe ser revisado, ya que solamente se requiere esta potencia durante 3 meses al año. Haciendo el promedio para todos los meses, tendríamos que serían necesarios solamente 46 kW.

Hemos hecho esta consideración ya que 124 kW representa un porcentaje elevado de incremento de potencia instalada (15%) y podría no salir rentable dicha instalación, sabiendo que el consumo sólo se incrementa el 1%. Con equipos de 46 kW tendríamos un incremento de potencia instalada del 6%. Sin embargo, se dejarán los resultados obtenidos por el programa como resultado académico.

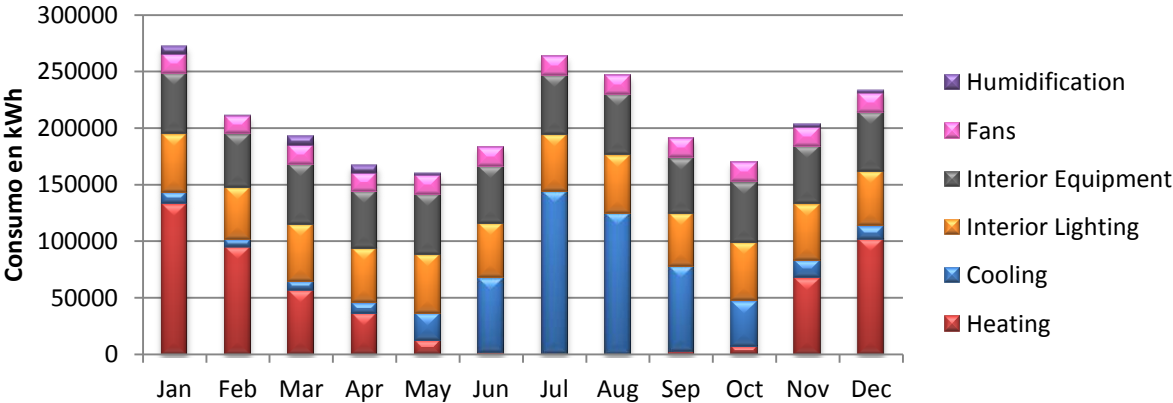


Figura 39: Consumo añadido por equipos de humedad

En la Figura 39 se puede apreciar como el consumo adicional apenas es algo superior al inicial. En la siguiente figura se muestra el aumento de potencia instalada debido a los equipos de tratamiento de humedad.

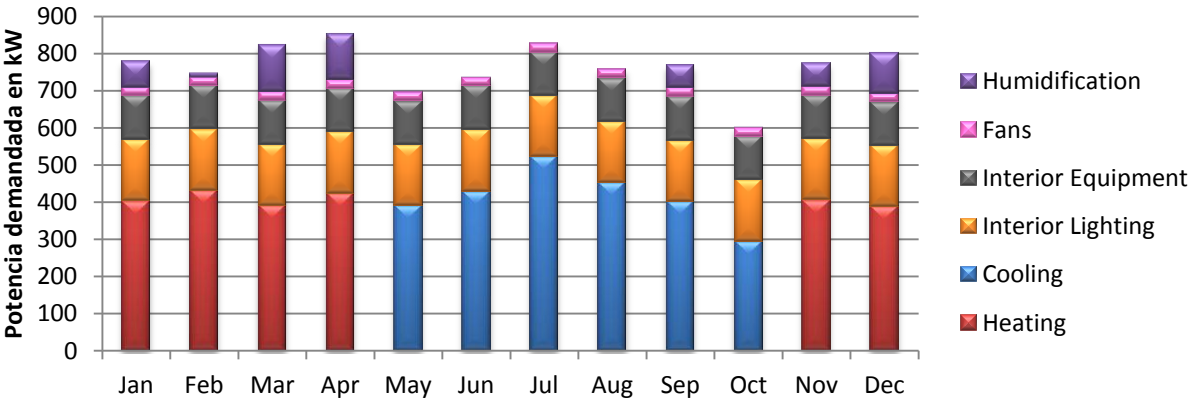


Figura 40: Potencia añadida debida a equipos de humedad

6.2 Instalación de refrigeración solar

Con esta medida se pretende reducir el consumo del edificio mediante la instalación de paneles solares en la cubierta del edificio. [9] Dichos paneles ocuparán una superficie no mayor al 75% del área de la cubierta del edificio a efectos de sombras propias y espacios para la circulación.

El sistema estará compuesto por paneles térmicos por los cuales circulará agua con una mezcla de líquido refrigerante para evitar su congelamiento en invierno. El modo de generación de frío se realizará con una máquina de absorción, la cual derivará el frío producido a los equipos de refrigeración existentes. [6]

En las siguientes figuras se muestra el esquema de la instalación de frío solar. En la parte superior tendríamos el equipo de bombeo y los paneles, luego tenemos una consigna de temperatura, en este caso de agua caliente, y en la parte inferior tenemos la máquina de absorción. Los conductos se consideran adiabáticos a efectos de pérdidas térmicas.

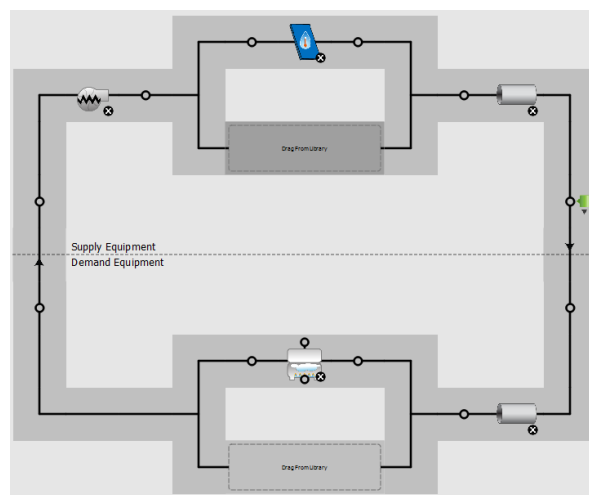


Figura 41: Lazo de captadores – máquina de absorción

La figura siguiente muestra el circuito de frío. En la parte superior tenemos el mismo equipo de absorción junto al sistema de bombeo. En la parte inferior tenemos cada uno de los serpentines de frío que se pueden combinar con el sistema VRF. La temperatura de consigna en este caso son 6 °C.

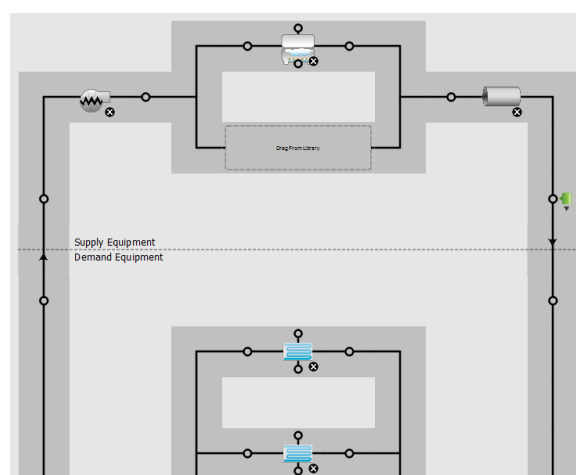


Figura 42: Lazo de máquina de absorción – serpentines

Para simplificación del sistema y así reducir el tiempo de simulación, se ha considerado un solo serpentín de frío para cada zona térmica, de tal manera que introduciremos 11 serpentines de frío.

Los paneles solares han sido colocados con orientación sur con una inclinación de 37° y tienen una superficie total de 2038 m². El cálculo de las potencias de bombeo y los caudales se deja a disposición del programa.

Una vez introducido el sistema, se procede a una nueva simulación del edificio, obteniéndose nuevos consumos.

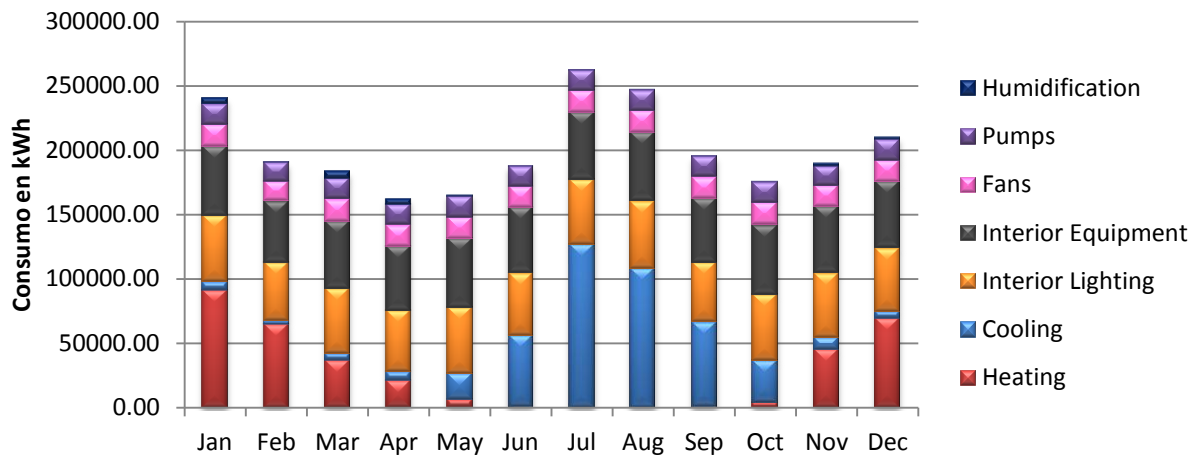


Figura 43: Consumo con sistema de refrigeración solar

Uso final	Consumo (kWh)
Calefacción	339.294
Refrigeración	446.172
Iluminación interior	592.919
Equipamiento interior	619.978
Ventilación	199.756
Bombas	188.439
Humidificación	20.114

Tabla 23: Uso final de la energía en el edificio con refrigeración solar

Como se puede ver en la tabla anterior, los consumos mensuales han disminuido respecto a la situación inicial, aunque también han experimentado un pequeño incremento debido al uso de bombas en el circuito de los paneles y en la máquina de absorción. Inicialmente el consumo anual era de 2.462.793,24 kWh sin control de humedad, o bien de 2.492.112,27 kWh si se tiene en cuenta el control de humedad. Con la instalación del sistema de refrigeración solar, se consigue reducir el consumo hasta los 2.406.671,34 kWh anuales, de los cuales 188.437,75 kWh corresponden al incremento debido a bombas. Con estos datos podemos decir que respecto del principio, el consumo se ha reducido en un 2,27 % respecto del estado inicial y un 3,43% si se considera desde los equipos de tratamiento de humedad. Fijándonos solamente en calefacción vemos que se reduce su consumo en un 33,9% y el de refrigeración un 16,7%.

Si nos fijamos en el lado de las potencias, tenemos que en el estado inicial, la potencia máxima requerida en calefacción era de 432,2 kW y con la refrigeración sube a 439,9 kW (1.78% mayor). Por el contrario el sistema de refrigeración requiere inicialmente una potencia máxima de 521,9 kW y se reduce hasta los 511,5 kW (2% menor)

Picos de demanda	Potencia kW
Calefacción	439,9
Refrigeración	511,5
Iluminación interior	164,9
Equipamiento interior	117,6
Ventilación	22,8
Bombas	21,5
Humidificación	120,1

Tabla 24: Picos de demanda para el edificio con refrigeración solar

Viendo los resultados anteriores, en primer lugar haría falta un mayor control sobre el sistema de refrigeración ya que debido a éste, el consumo de calefacción sube, por lo cual se concluye que no se está controlando adecuadamente.

En segundo lugar, en vista de los resultados obtenidos, aunque la instalación de frío solar solamente supone una reducción del consumo del 2,27% sobre el total, para el caso de climatización supone una reducción del 33,9% para calefacción y del 16,7% para refrigeración. Con estos valores podríamos decir que con el ahorro experimentado, podríamos calentar gratuitamente 2.72 plantas del edificio (aunque no se dispongan de fuentes de calor renovables), tomando como referencia el consumo inicial, y podríamos enfriar 1.34 plantas del edificio gracias al sistema de refrigeración solar.

Perfil de carga con refrigeración solar

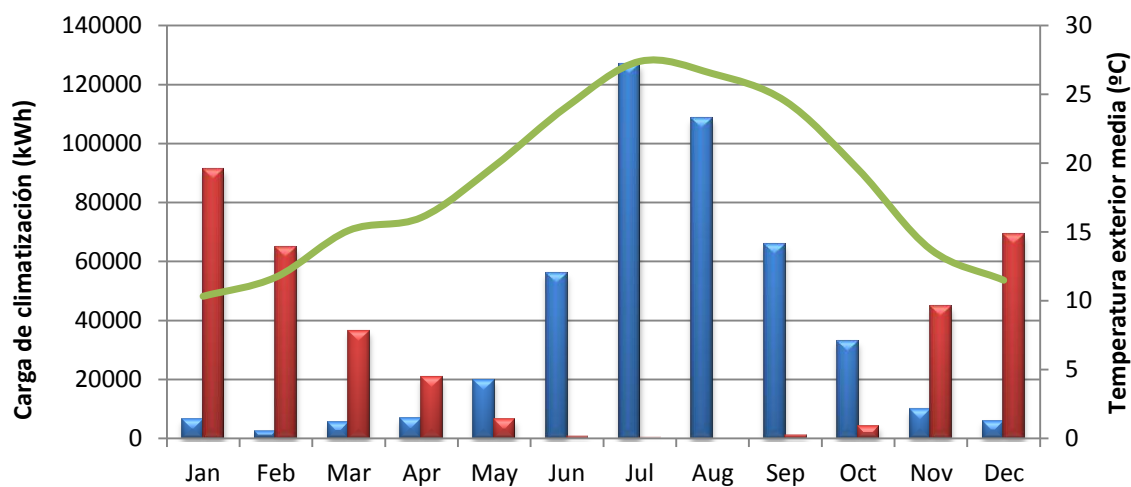


Figura 44: Perfil de carga con refrigeración solar

A continuación se evaluará de nuevo el edificio, con el sistema de refrigeración solar, el sistema de control de la humedad, e incidiendo en la tecnología utilizada en la iluminación. En este caso se pretende cambiar la iluminación de tipo fluorescente a LED, con lo cual se reducirá el consumo debido a iluminación y consiguientemente el calor desprendido por los mismos.

6.3 Sustitución de la iluminación existente por tecnología LED

La siguiente actuación propuesta sería cambiar la iluminación existente por iluminación LED. Con esta actuación se pretende reducir el consumo global del edificio. El procedimiento para establecer la nueva potencia de los equipos de iluminación es la siguiente:

Se ha considerado como valor estándar, un nivel de iluminación de 750 lux para los espacios de oficinas, el resto de espacios tienen un índice menor en función de su utilización; en el caso de espacios de almacenamiento, 300 lux, en conferencias 500 lux, y en pasillos y escaleras, 200 lux. A partir de este punto se ha tomado como parámetro de iluminación de las lámparas LED, un valor comprendido entre 95 y 140 lm/W, sabiendo que los fluorescentes se comprenden en valores entre 63 y 77 lm/W. A partir de estos valores, podemos obtener los vatios por metro cuadrado que se requerirán. Sabiendo que 1 lux = 1 lumen/m², tenemos que para el caso de las oficinas la potencia por metro cuadrado será:

$$p = \frac{750 \text{ lux}}{140 \text{ lm/W}} = 5,35 \text{ W/m}^2$$

De la misma forma se puede proceder con los otros espacios. De esta forma tenemos que la potencia por metro cuadrado, para el espacio de oficinas, se reduce de 9,3 a 5,35 W/m², prácticamente se reduce a la mitad.

Otra característica que varía respecto de los fluorescentes es su fracción de energía emitida en forma de calor. Mientras que para fluorescentes era aproximadamente del 70%, en la tecnología LED, esto se traduce en un 10%. Esto hace que se reduzca la carga interna en cuanto al calor emitido por la iluminación, lo cual favorece al sistema de refrigeración pero no al de calefacción.

A continuación se describen los cambios experimentados en el edificio después de haberlo simulado con este cambio en la iluminación:

- El consumo debido a iluminación inicialmente era de 592.919,44 kWh y con la instalación de tecnología LED, el consumo es de 362.470,56 kWh, lo cual supone una reducción del 38,8%.
- El consumo de calefacción respecto del estado inicial, se reduce en un 32,3%, aunque esta reducción es algo menor que con los paneles solares y fluorescentes, que como se ha visto era del 33,9%.
- El cambio experimentado por el sistema de refrigeración es del 20,6%, algo mayor que con paneles solares y fluorescentes, donde la reducción era del 16,7%.
- La repercusión global del cambio de iluminación supone una reducción del consumo del 13,6% respecto del estado inicial.

Además de reducirse los consumos, en el caso del sistema de climatización, su potencia de diseño se reduce también. Para el caso de la potencia de calefacción, se tiene que al principio era de 432,2 kW, luego con el sistema de refrigeración solar, fueron 439,9 kW y finalmente 408,7 kW, por lo que la reducción de la potencia requerida respecto del estado inicial es del 5,4%.

Picos de demanda	Potencia kW
Calefacción	408.7
Refrigeración	487.4
Iluminación interior	100.8
Equipamiento interior	117.6
Ventilación	20.9
Bombas	19.35
Humidificación	124.9

Tabla 25: Picos de demanda para el edificio con iluminación LED

Para el caso de los equipos de refrigeración, también existe una reducción de la potencia de diseño; inicialmente era de 521,9 kW, luego de 511,5 kW y finalmente de 487,3 kW, por lo que la reducción de la potencia requerida es del 6,6%. Éste cambio de tecnología también tiene implicación en el consumo anual, lo cual se puede ver en la siguiente tabla.

Uso final	Consumo (kWh)
Calefacción	347.897
Refrigeración	425.819
Iluminación interior	362.469
Equipamiento interior	619.978
Ventilación	183.128
Bombas	169.581
Humidificación	18.767

Tabla 26: Uso final de la energía con iluminación LED

En vista de los resultados anteriores, parece ser bastante interesante efectuar el cambio de iluminación, dado que el consumo global se reduce de manera considerable.

De nuevo, viendo el efecto sobre el sistema de climatización, se tienen los siguientes resultados.

Perfil de carga con iluminación LED

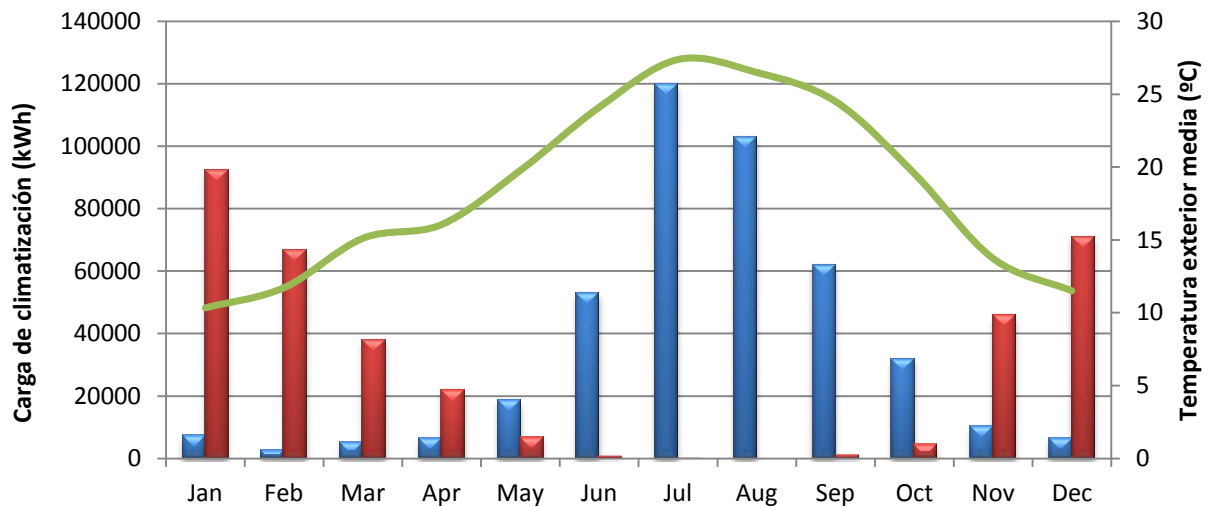


Figura 45: Perfil de carga con iluminación LED

El ahorro económico anual que supondría esta inversión, con precio de la energía de 0,125 €/kWh sería:

$$A_i = 0,125 \cdot (592.919,44 - 362.470,56) = 28.806,11 \text{ €}$$

6.4 Ahorro económico anual

Considerando como precio de la energía 0,125 €/kWh, y tomando en cuenta todas las reducciones de consumo experimentadas en el edificio una vez introducidas las mejoras, se puede concluir que el ahorro económico anual será el siguiente:

$$A_T = 0,125 \text{ €/kWh} \cdot (2.462.793,24 - 2.127.642,61) \text{ kWh} = 41.893,82 \text{ €}$$

Este ahorro está sujeto al precio de la energía eléctrica a lo largo de todo el periodo de facturación. A su vez habría que verificar la eficiencia de los nuevos equipos instalados para que este resultado sea coherente.

Aunque los resultados de la simulación den que la potencia de los equipos de climatización se reduce, no se tiene como finalidad cambiarlos por otros que consuman menos.

Habría que ver el coste correspondiente de todos los elementos de mejora para poder hacer un balance económico con más precisión.

7 CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

7.1 Conclusiones

Tal y como se ha ido viendo a lo largo del trabajo, el objetivo era el análisis de un edificio de oficinas usando EnergyPlus. Nuestro caso de estudio ha sido un edificio existente en Sevilla perteneciente a la Junta de Andalucía. A lo largo de todo el proyecto se han ido caracterizando todos los elementos que componen el edificio, desde la geometría hasta las cargas internas y finalmente se han realizado varias simulaciones para evaluar el comportamiento energético del edificio introduciendo nuevos sistemas para reducir el consumo o mejorar el confort en los espacios interiores.

La primera conclusión que se desprende ya desde el inicio de la caracterización del edificio es que por mucho que dispongamos de todos los datos de la envolvente y de los equipos interiores, el comportamiento del edificio real no será prácticamente nunca el mismo que el del edificio modelado en OpenStudio, ya que en el edificio real pueden haber variaciones en la ocupación, en la utilización y en las condiciones meteorológicas, mientras que en el edificio modelado, se siguen los parámetros establecidos y los datos meteorológicos son promediados en base a un histórico.

Como segunda conclusión, podemos decir que no siempre el programa de cálculo va actuar de la forma esperada, para ello hay que ser muy cuidadoso a la hora de introducir los parámetros y tener en cuenta posibles efectos derivados de nuestra actuación. Por ejemplo en el caso de introducir la refrigeración solar, se reduce el consumo de refrigeración pero aumenta el consumo de calefacción. Para ello se pretendió hacer un sistema mixto de aprovechamiento solar; en el periodo estival, usar la máquina de absorción y en el periodo de invierno, hacer un by-pass hacía un sistema de aprovechamiento del calor captado en los paneles, mediante un intercambiador de calor y un tanque de almacenamiento. Esta opción habría sido interesante, pero en el transcurso de su diseño, surgieron varios problemas, que hacían que los resultados no tuvieran sentido.

A su vez se trató de introducir equipos de recuperación de calor, pero de la misma forma parecía que el consumo del edificio en lugar de disminuir, aumentaba.

El hecho de ser un edificio tan grande, hace que cualquier pequeño error, produzca un fallo en la simulación, por lo que hay que ser muy cuidadoso en todo el procedimiento de caracterización del edificio. Además, por el mismo motivo, las simulaciones pueden tardar varias horas, en nuestro caso, 3 horas para cada simulación. Por ello se han ido realizando varias pruebas a lo largo del trabajo en un pequeño local de unos pocos metros cuadrados, para ver el efecto que tenían sobre el consumo final, las mejoras introducidas. De esta forma se podría prever en unos pocos minutos el resultado que se tendría en el edificio grande, y así también subsanar posibles errores de cara a la modificación en el edificio estudiado.

7.2 Futuros trabajos

Durante este proyecto se han ido viendo distintas líneas de investigación y desarrollo del trabajo. Una de ellas ha sido la introducción de propuestas de mejora en el edificio para tratar de reducir su consumo en la medida de lo posible.

Como ya se ha comentado anteriormente sería interesante poder desarrollar el sistema de captación solar mixto, pudiendo aprovechar la radiación tanto para calefacción como para refrigeración incidiendo sobre los parámetros necesarios para su correcta definición. Además también sería interesante introducir los sistemas de recuperación de calor.

Durante el trabajo se ha pensado en introducir una medida que contemple la ventilación nocturna en caso de querer aprovechar el frío exterior para enfriar los locales durante la noche sin necesidad de tener que consumir energía excesiva. Dado que todo lo que se aproveche de noche, va a ser una ventaja a la hora de poner en marcha los sistemas de refrigeración los cuales se pueden retrasar. Esto es interesante si existen elementos constructivos con mucha inercia térmica, en caso contrario, quizás no valga la pena introducir ventilación nocturna.

Un nuevo caso de estudio sería enlazar OpenStudio con Matlab [12] para realizar iteraciones sobre los parámetros calculados y así poder llegar a puntos óptimos de funcionamiento y validar o descartar propuestas de mejora.

Otro caso de estudio sería la evaluación económica de todas las propuestas de mejora adoptadas durante el proyecto, viendo su rentabilidad, su amortización, el tiempo de retorno de la inversión y otros índices que puedan indicar la posibilidad de que las propuestas de mejora sean rentables y viables.

El siguiente paso una vez finalizado el edificio, completamente caracterizado y optimizado podría ser darle una calificación energética al edificio y comparar el edificio existente con el nuevo edificio. Esto puede ser realizado con la extensión SGSave, la cual hace de puente entre OpenStudio y la calificación que se puede obtener en la página del Código Técnico de la Edificación.

ANEXOS

Características generales

Zona Térmica	Tipo	Ocupación (p/m ²)	Iluminación (W/m ²)	Ilum. LED (W/m ²)	Equipos elec. (W/m ²)	Pared Ext. (W/m ² ·K)	Pared Int. (W/m ² ·K)	S. Terreno (W/m ² ·K)	Suelo Int. (W/m ² ·K)	Cubierta (W/m ² ·K)	Ventanas (W/m ² ·K)
Ala-Este	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Nor-Este	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Nor-Oeste	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Norte	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Oeste	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Sur	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Sur-Este	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ala Sur-Oeste	Closed Office	0.216	9.31	5.35	6.93	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Almacén N	Storage	-	7.75	2.14	-	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Almacén S	Storage	-	7.75	2.14	-	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Ascensores	Elec. Room	-	3.5	3.5	2.906	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Baño C-Norte	Break Room	0.15	4.45	5.35	9.71	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Baño C-Sur	Break Room	0.15	4.45	5.35	9.71	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Baño Norte	Break Room	0.15	4.45	5.35	9.71	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Baño Sur	Break Room	0.15	4.45	5.35	9.71	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Conferencia Norte	Conference	0.318	8.31	3.57	3.98	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Conferencia Sur	Conference	0.318	8.31	3.57	3.98	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Escalera Norte	Stair	-	5.81	1.42	-	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Escalera Sur	Stair	-	5.81	1.42	-	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Nave Central	Open Office	0.192	9.31	5.35	20	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Pasillo Norte	Corridor	0.01	4.84	1.42	1.722	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154
Pasillo Sur	Corridor	0.01	4.84	1.42	1.722	0.354	0.548	3.242	0.427	0.165	1.154

Tabla 27: Características de las Zonas Térmicas

Distribución de superficies (m ²)	
Planta baja	2.810,8
Plantas 1 - 8	22.486,4
Párquing 1	4.726,5
Párquing 1-4	18.906,0
Solar	4.727,0
Total construido:	41.392,4

Tabla 28: Superficie construida

Características de los equipos de climatización

DAIKIN	REYQ10M	REY12M	REYQ14M	REYQ16M	REYQ28M	REYQ34M	
Cooling Capacity (kW)	28.00	33.50	40.00	44.50	78.00	96.00	
Heating Capacity (kW)	31.50	37.50	45.00	50.00	87.50	108.00	
Pot. Nominal Frío (kW)	9.00	10.60	14.24	15.60	26.20	32.20	
Pot. Nominal Calor (kW)	9.31	10.80	12.90	14.00	25.30	32.10	
							Promedio
EER	3.11	3.16	2.81	2.85	2.98	2.98	2.98
COP	3.38	3.47	3.49	3.57	3.46	3.36	3.46
Número de unidades	1	2	3	13	2	2	
							TOTAL:
Pot. Frío x Núm unidades	9	21.2	42.72	202.8	52.4	64.4	392.52 kWe
Pot. Calor x Núm uds	9.31	21.6	38.7	182	50.6	64.2	366.41 kWe
Capacidad total frío	28	67	120	578.5	156	192	1141.5 kWt
Capacidad total calor	31.5	75	135	650	175	216	1282.5 kWt

Tabla 29: Equipos de climatización existentes

Potencia Humidificadores (W)	
ALA NORTE	9.600
ALA NOR-ESTE	20.600
ALA NOR-OESTE	14.100
ALA ESTE	16.100
ALA OESTE	16.000
ALA SUR	9.600
ALA SUR-ESTE	14.200
ALA SUR-OESTE	20.500
CONF. NORTE	3.000
CONF. SUR	3.000
NAVE CENTRAL	23.200

Tabla 30: Potencia Humidificadores

Horarios

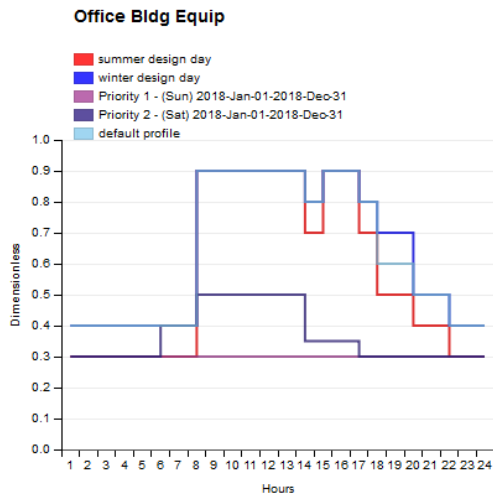


Figura 46: Horario Equipamiento

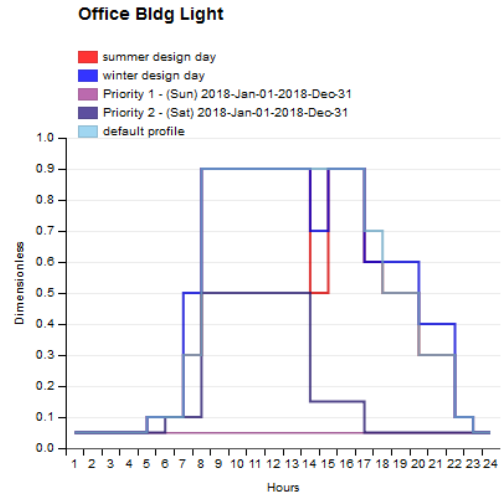


Figura 47: Horario Iluminación

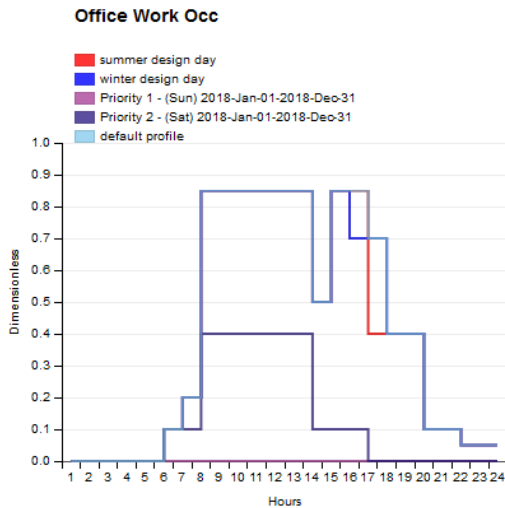


Figura 48: Horario Ocupación

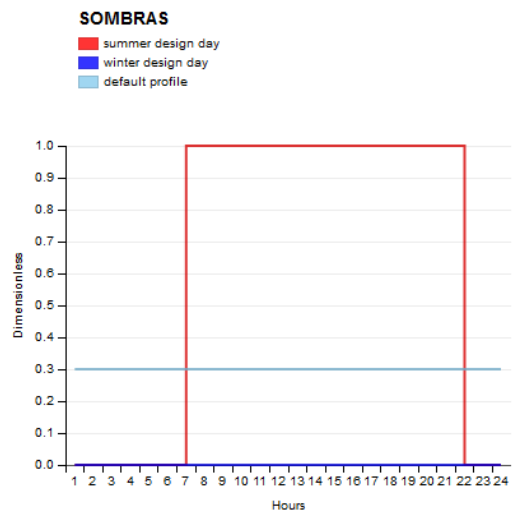


Figura 49: Horario Sombras

Climatización

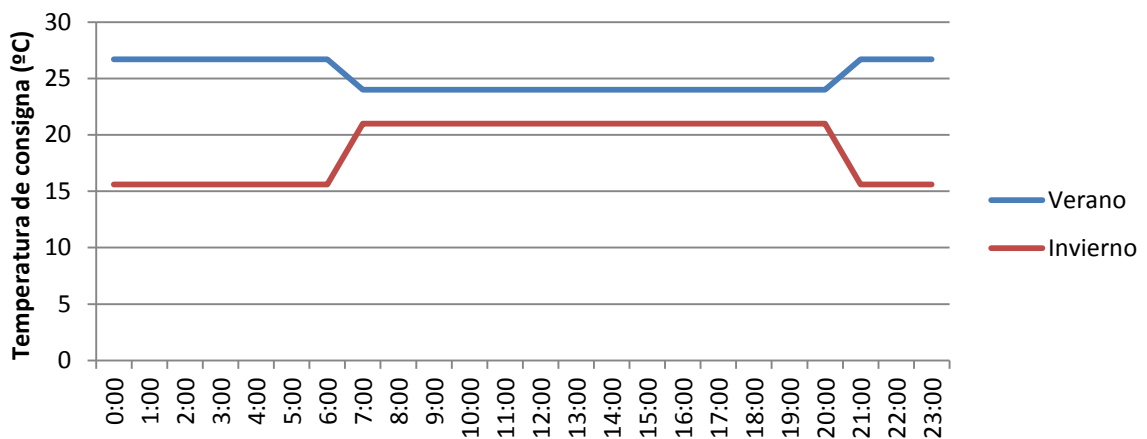
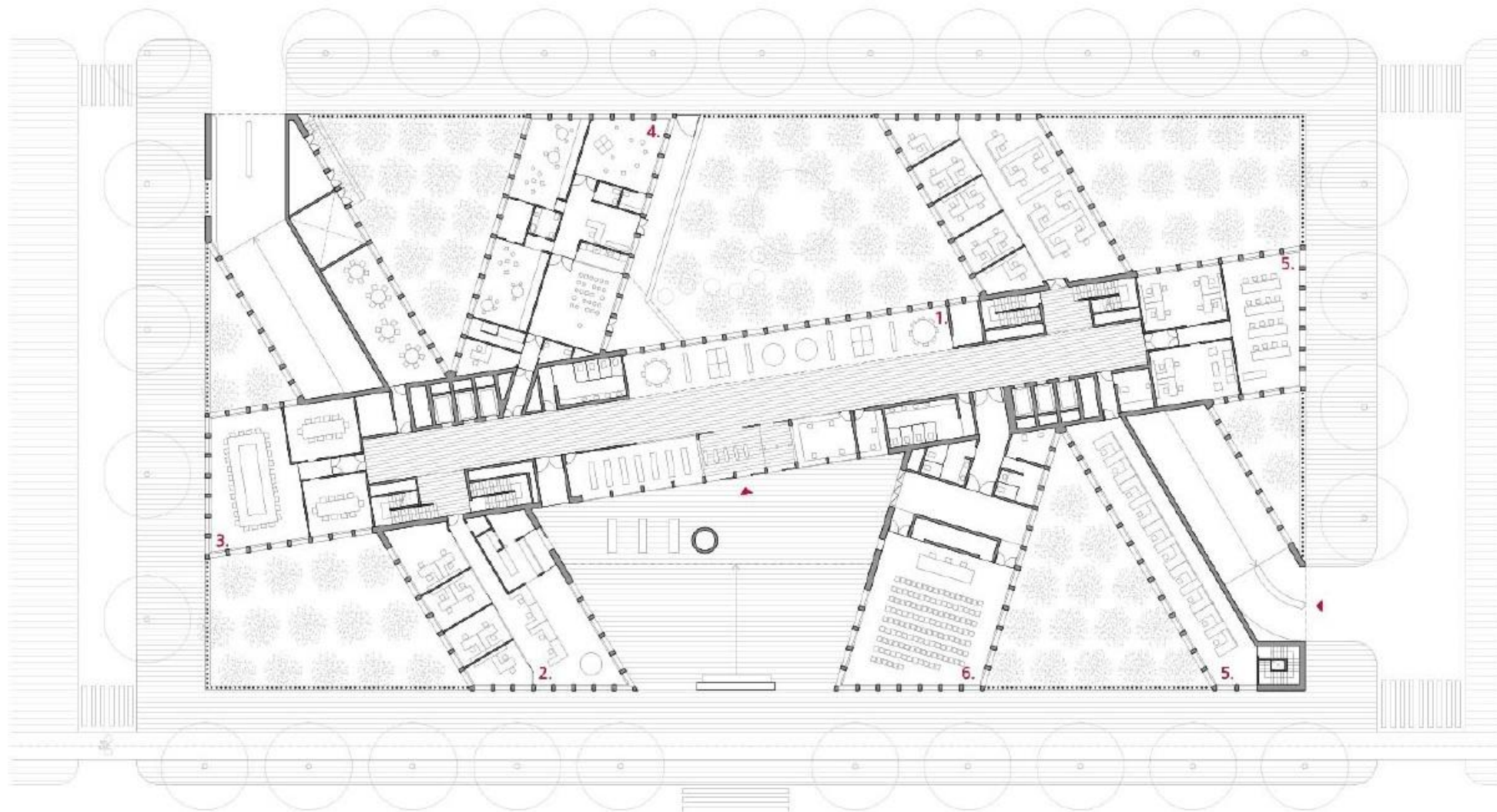


Figura 50: Consigna de climatización

PLANOS



CONSEJERIA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
DIRECCIÓN GENERAL DE PATRIMONIO
JUNTA DE ANDALUCÍA

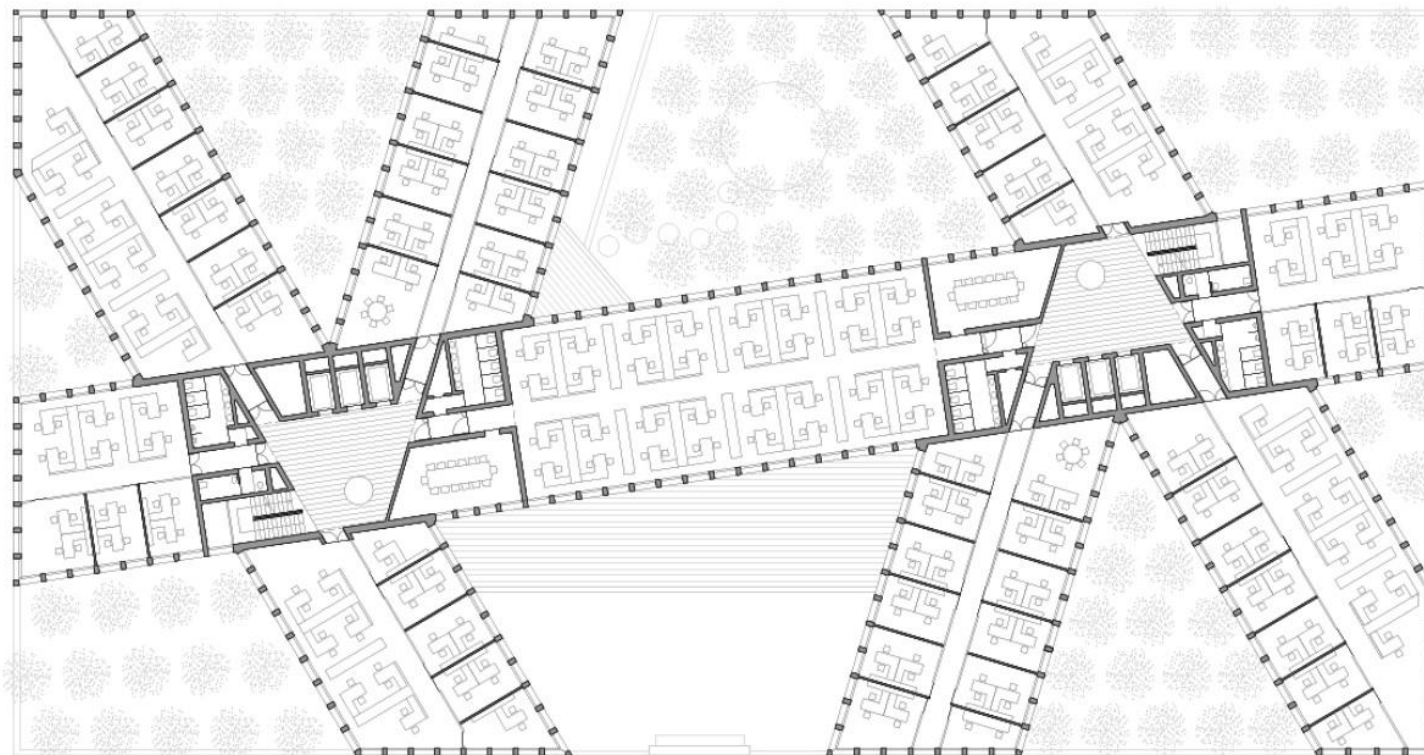
Edificio administrativo en calle Picasso 1, Sevilla
PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN

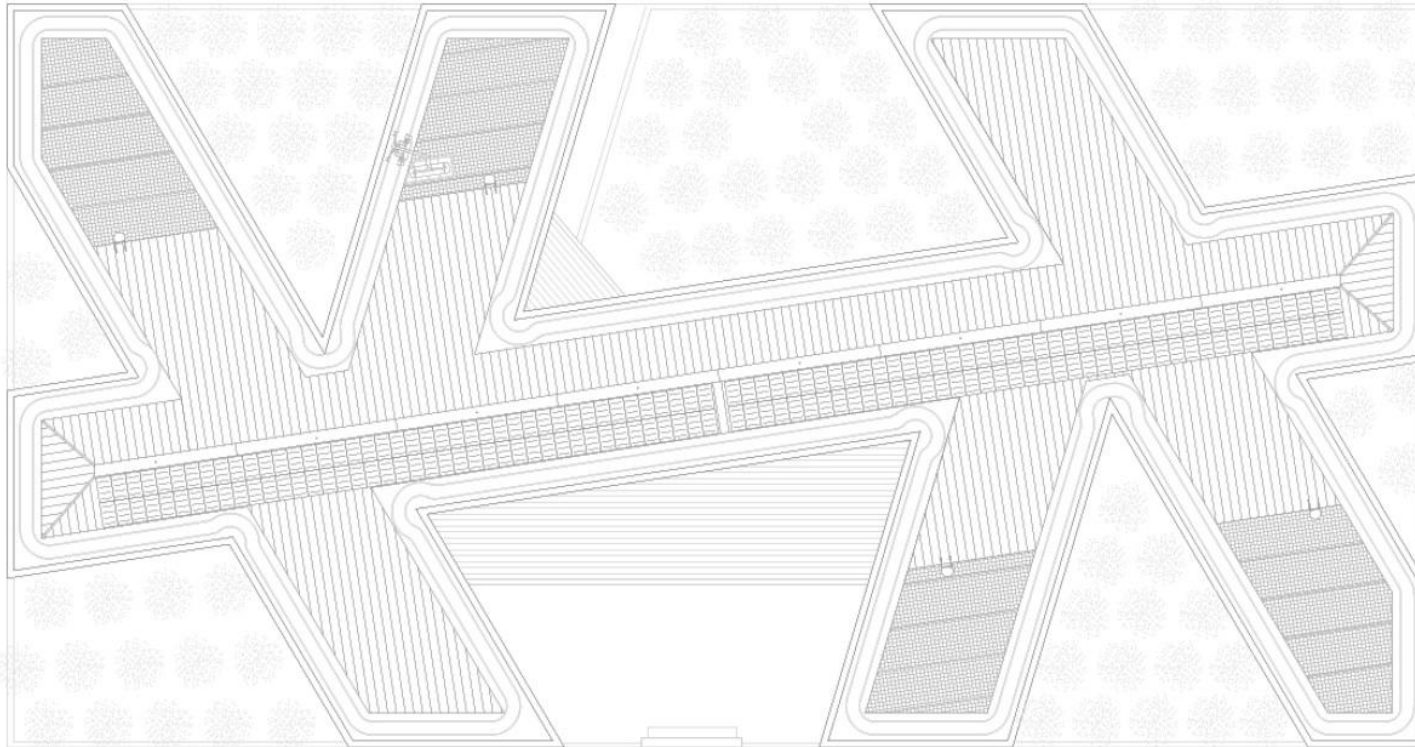
PLANO: Planta Baja

ESCALA: 1/500

CRUZ Y ORTIZ ARQUITECTOS

JUNIO 2008





CONSEJERIA DE ECONOMIA Y HACIENDA
DIRECCION GENERAL DE PATRIMONIO JUNTA DE ANDALUCÍA

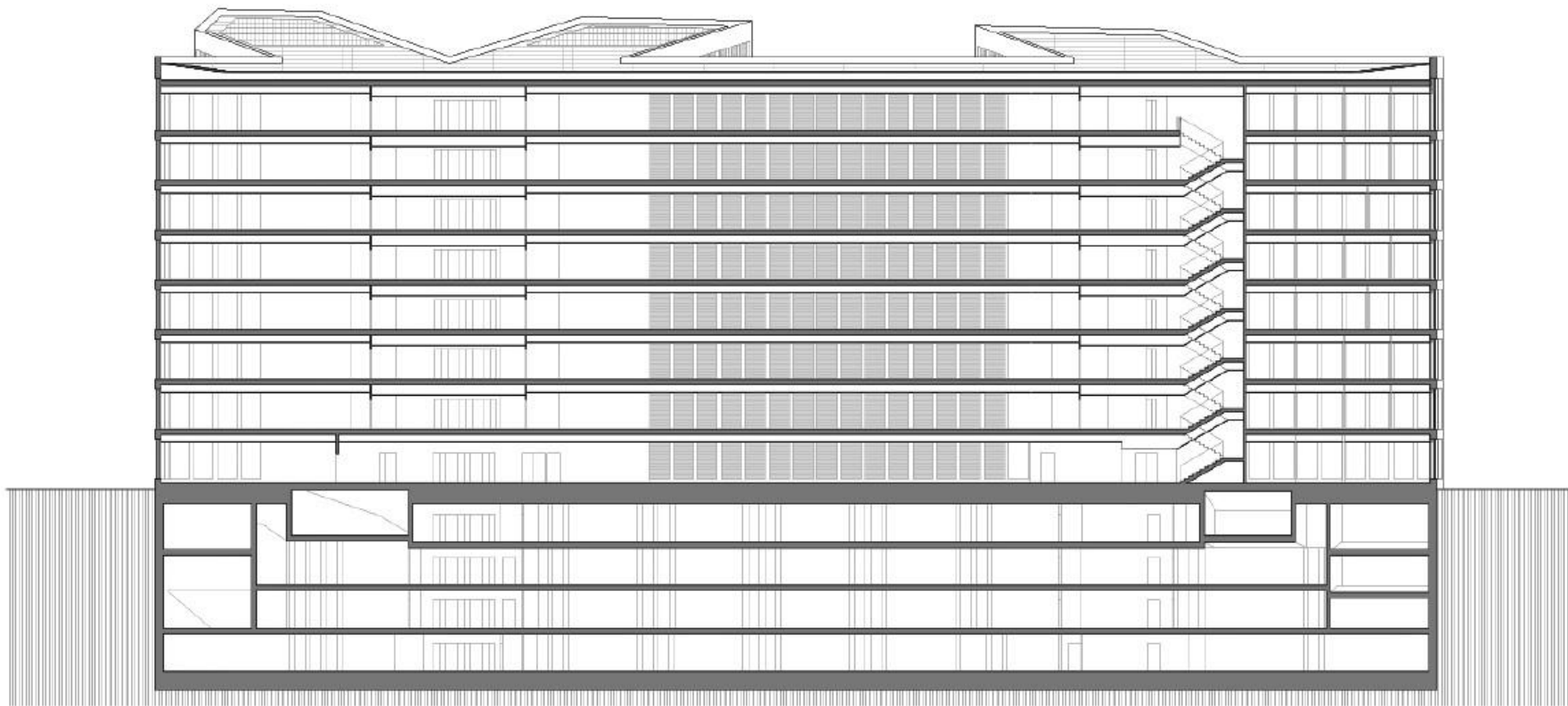
Edificio administrativo en calle Picasso 1, Sevilla
PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN

PLANO: **Planta Cubierta**

ESCALA: 1/500

CRUZ Y ORTIZ ARQUITECTOS

JUNIO 2008



CONSEJERIA DE ECONOMIA Y HACIENDA
DIRECCION GENERAL DE PATRIMONIO JUNTA DE ANDALUCIA

Edificio administrativo en calle Picasso 1, Sevilla

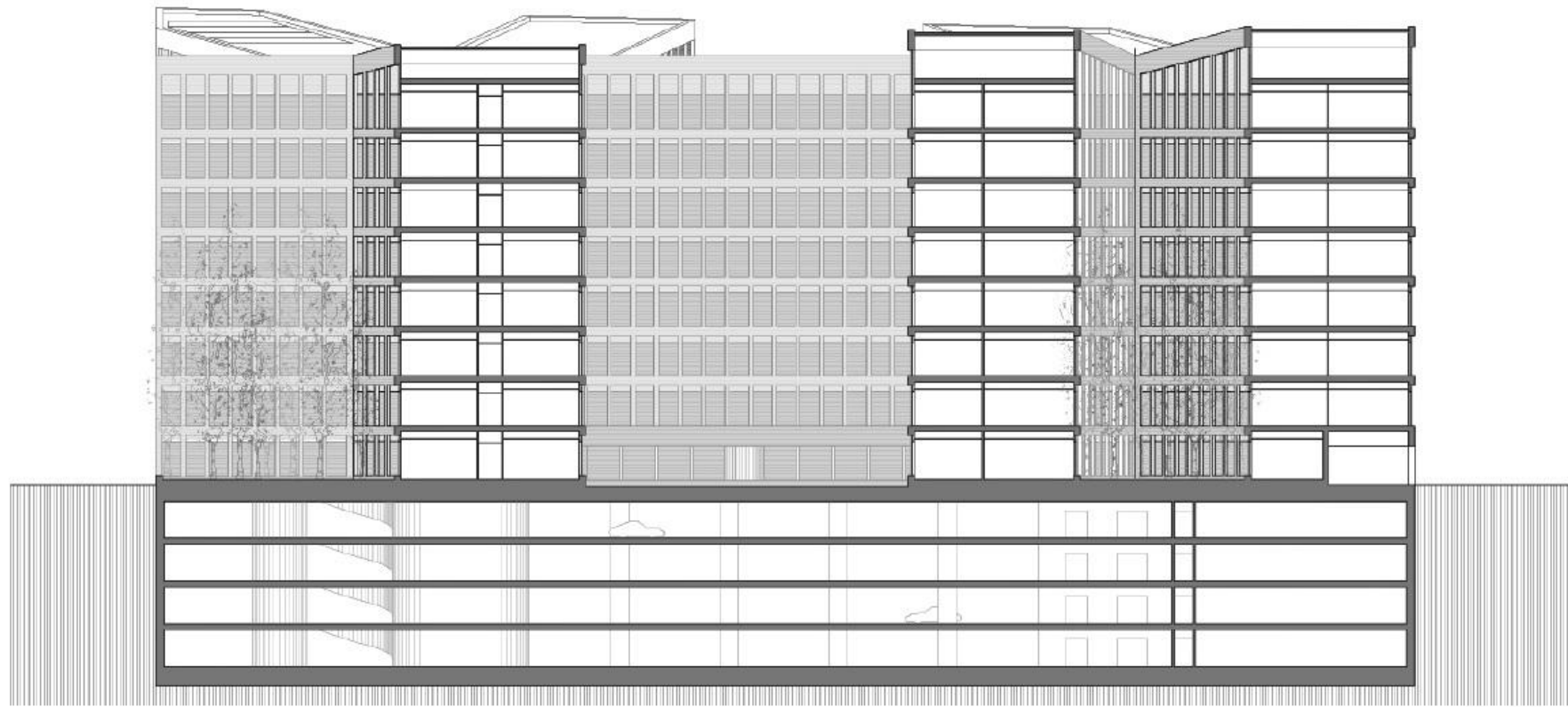
PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN

PLANO: Sección Transversal

ESCALA: 1/500

CRUZ Y ORTIZ ARQUITECTOS

JUNIO 2008





CONSEJERIA DE ECONOMIA Y HACIENDA
DIRECCION GENERAL DE PATRIMONIO JUNTA DE ANDALUCIA

Edificio administrativo en calle Picasso 1, Sevilla
PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN

PLANO: **Sección Central**

ESCALA: 1/500

CRUZ Y ORTIZ ARQUITECTOS

JUNIO 2008

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Software de Simulación: OpenStudio, versión 1.4, www.openstudio.net (Último acceso: 28/07/2018)
- [2] EnergyPlus: Motor de cálculo, versión 8.9, <https://energyplus.net> (Último acceso: 28/07/2018)
- [3] Building Component Library, <https://bcl.nrel.gov/> (Último acceso: 19/05/2018)
- [4] Software de diseño gráfico: Sketchup 2016, www.sketchup.com/es (Último acceso: 28/07/2018)
- [5] ASHRAE *Fundamentals* IP F13 Chapter 18. www.ashrae.org.
- [6] Bujedo, L.A. et al. (2011). Experimental results of different control strategies in a solar HVAC system part load. *Solar Energy*, 85 (2011), pp. 1302-1315.
- [7] Chua, K.J et al. (2013). Achieving better energy efficient air conditioning. A review of technologies and strategies. *Applied Energy*, 104 (2013), pp. 87-104.
- [8] Perez Lombard, L. et al. (2011). A review of HVAC system requirements in building energy regulations. *Energy and Buildings*, 43 (2011), pp. 255-268.
- [9] Rosiek, S. et al. (2011). Performance study of solar-assisted air-conditioning system provided by storage tanks. *International Journal of Refrigeration*, 34 (2011), pp. 1446-1454.
- [10] Rosiek, S. et al. (2013). Renewable energy solutions for building cooling, heating and power system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013), pp. 147-168.
- [11] Trcka, M. et al. (2010). Overview of HVAC system simulation. *Automation in Construction*, 19 (2010), pp. 93-99.
- [12] Trcka, M. et al. (2009). Co_simulation of innovative integrated HVAC systems in buildings. *Journal of Building Performance Simulation*, Vol. 2, No. 3, (2009), pp. 209-230.
- [13] Villarino, J. I. et al. (2017). Experimental modelling analysis of an office building HVAC system based in a ground coupled heat pump. *Applied Energy*, 190 (2017), pp. 1020-1028.
- [14] Zhou, X. et al. (2014). Comparison of HVAC system modeling in EnergyPlus DeST and DOE-2.1E. *Research Article*, DOI 10.1007/s12273-013-0150-7.
- [15] Zhou, Y. P. (2008). Simulation and Experimental validation of the VRV air conditioning system in EnergyPlus. *Energy and Buildings*, 40 (2008), pp. 1041-1047.
- [16] Perez Lombard, L. et al. (2007). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40 (2008), pp. 394-398.
- [17] EUROSTAT - <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php>
- [18] IDAE - www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion
- [19] IEA – www.iea.org
- [20] Shanska, Cushman, Go4Energy, *Energy Consumption in Office Buildings. A comparative study.* www.skanska.pl
- [21] La Energía en España 2016, Ministerio de Energía, <http://www.mincotur.gob.es>
- [22] Catálogo de elementos constructivos del CTE, Ministerio de Vivienda, www.codigotecnico.org
- [23] Documento Básico de Ahorro de Energía (DBHE), www.codigotecnico.org
- [24] Cruz y Ortiz Arquitectos: planos del edificio.
- [25] JG Ingenieros: información de los sistemas de climatización e iluminación.