



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA



# EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS Y ANÁLISIS DE SU TRANSFORMACIÓN HACIA 'BALANCE ENERGÉTICO NULO' (NZEB)

AUTOR: ALEJANDRO GÓMEZ GIL

TUTORA:  ELISA PEÑALVO LÓPEZ

COTUTOR:  DAVID ALFONSO SOLAR

Curso Académico: 2014-15



## **DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:**

- MEMORIA
- PRESUPUESTO



## RESUMEN

El contexto energético en Europa y en España insta a proponer y planificar nuevos planes de actuación y políticas energéticas que pasen por un desarrollo sostenible y eficiente de la sociedad. Diversos problemas como la dependencia energética, la contaminación y el cambio climático requieren del desarrollo conjunto de políticas energéticas a nivel internacional.

El sector de la edificación es, económica y energéticamente hablando, uno de los sectores de mayor importancia en Europa. Además, ofrece una gran capacidad de mejora y una oportunidad de aplicar medidas de eficiencia energética y uso de fuentes de energía más limpias y renovables al mismo tiempo que se producen beneficios económicos.

Es dentro de este contexto donde se sitúa el concepto de los Edificios de Consumo Casi Nulo. A partir de la Directiva 2010/31/UE aprobada en el Parlamento Europeo, se definen los primeros conceptos relativos a estos edificios y se proponen una serie de objetivos graduales para conseguir que la mayor parte del parque edificatorio de los países miembros de la Unión Europea sean edificios altamente eficientes y energéticamente sostenibles.

En el presente trabajo, además de analizarse el nombrado contexto energético y los objetivos propuestos respecto a los NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), se estudia la aplicación de estos objetivos a un edificio existente, situado en la Comunidad Valenciana, de tamaño mediano y usos muy variados, perteneciente al sector terciario.

En este análisis se detallan las particularidades del edificio estudiado, sus consumos, sistemas, curvas diarias de potencia, demandas térmicas... Se realiza, además, la calificación energética del edificio mediante el programa CalenerVYP, de manera que se obtienen valores anuales de consumos, demandas y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Posteriormente, se proponen las medidas que permitirán transformar este edificio en un NZEB. Estas medidas se componen de propuestas de mejora en la eficiencia de los sistemas y de la envolvente y de instalación de fuentes de energía renovable con el objetivo de cubrir gran parte de la demanda restante.

De esta manera, tras el análisis del edificio actual, las propuestas a implementar y el balance económico de las mismas, es posible extraer conclusiones alrededor de la viabilidad técnica y económica de este tipo de objetivos. Además, se reflejan las principales ventajas de proponer e implementar este tipo de planes energéticos, al mismo tiempo que se resaltan las carencias en la definición de objetivos y métodos de actuación.

**Palabras clave:** NZEB, Edificios de Consumo Casi Nulo, Medidas de eficiencia, Energías renovables, Edificación.

## ABSTRACT

The energy context in Europe and Spain urges to propose new energy plans and policies taking account a more sustainable and efficient development of the society. Several problems, as energy dependence, pollution and climate change require the development of international energy policies.

The building sector is, economically and energetically speaking, one of the most important sectors in Europe. Furthermore, it offers a huge capacity of improvement and a great opportunity to implement energy efficiency measures and the use of renewable energy sources at the same time that an economic benefit is obtained.

It is in this context where the concept of Nearly Zero Energy Buildings resides. The European Directive EPBD defines some of the main concepts of the NZEB, and proposes some gradual objectives in order to achieve that the most part of the buildings of the member states of the European Union would be highly efficient and energetically sustainable.

In this project, besides analyzing this energy context and the proposed objectives regarding NZEB, a practical application is studied. These objectives are studied in a concrete case of an existing building in la Comunidad Valenciana, of a medium size and very varying uses, which belongs to the service sector.

In this analysis, all of the particularities of the studied building are detailed, as its consumption, climatic systems, daily power curves, thermal demands... The energy rating of the building is made with the software CalenerVYP, also, which offers annual values of consumption, demands and CO<sub>2</sub> emissions.

Afterwards, some measures are proposed, in order to achieve the requirements of a NZEB. This involves energy efficiency measures for the building and its systems as well as the installation of renewable energy sources with the aim to supply some of the remaining demand.

In this way, after the analysis of the current building, the different proposed solutions and the economic balance of them, it is possible to obtain some conclusions around the concept of the NZEB, its advantages and disadvantages, the technologic and economic viability of these objectives and the main lacks of this type of policies and objectives.

**Keywords:** NZEB, Efficiency measures, Renewable energies, Buildings, Households, Services.

## RESUM

El context energètic a Europa i a Espanya insta a proposar i planificar nous plans d'actuació i polítiques energètiques que passen per un desenvolupament sostenible i eficient de la societat. Diversos problemes com ara la dependència energètica, la contaminació i el canvi climàtic requereixen del plantejament conjunt de polítiques energètiques a nivell internacional.

El sector de l'edificació és, econòmicament i energèticament parlant, un dels sectors de major importància a Europa. A més, ofereix una gran capacitat de millora i una oportunitat d'aplicar mesures d'eficiència energètica i ús de fonts d'energia més netes i renovables alhora que es produeixen beneficis econòmics.

És dins d'este context on se situa el concepte dels Edificis de Consum Quasi Nul. A partir de la Directiva 2010/31/UE aprovada en el Parlament Europeu, es defineixen els primers conceptes relatius a estos edificis i es proposen una sèrie d'objectius graduals per aconseguir que la major part del parc edificatori dels països membres de la Unió Europea siguin edificis altament eficients i energèticament sostenibles.

En el present treball, a més d'analitzar-se l'anomenat context energètic i els objectius proposats respecte als NZEB (Nearly Zero Energy Buildings), s'estudia l'aplicació d'estos objectius a un edifici existent, situat a la Comunitat Valenciana, de grandària mitjana i usos molt variats, pertanyent al sector terciari.

En esta anàlisi es detallen les particularitats de l'edifici estudiat, els seus consums, sistemes, corbes diàries de potència, demandes tèrmiques... Es realitza, a més, la qualificació energètica de l'edifici per mitjà del programa CalenerVYP, de manera que s'obtenen valors anuals de consums, demandes i emissions de CO<sub>2</sub>.

Posteriorment, es proposen les mesures que permetran transformar este edifici en un NZEB. Estes mesures es componen de propostes de millora en l'eficiència dels sistemes i de l'envolvent i d'instal·lació de fonts d'energia renovable amb l'objectiu de cobrir gran part de la demanda restant.

D'esta manera, després de l'anàlisi de l'edifici actual, les propostes a implementar i el balanç econòmic de les mateixes, és possible extraure conclusions al voltant de la viabilitat tècnica i econòmica d'este tipus d'objectius. A més, es reflecteixen els principals avantatges de proposar i implementar este tipus de plans energètics, alhora que es ressalten les carències en la definició d'objectius i mètodes d'actuació.

**Paraules clau:** NZEB, Edificis de Consum Quasi Nul, Mesures d'eficiència, Energies renovables, Edificació.



# INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	14
1.1	Objetivo y Motivación.....	14
1.2	Estructura.....	14
2.	REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL A NIVEL EUROPEO.....	16
2.1	Consumo Interior Bruto de Energía.....	16
2.2	Energía Primaria.....	17
2.3	Importaciones y Exportaciones.....	18
2.4	Energía Final.....	20
2.5	Producción de Electricidad.....	20
2.6	Contribución de las Energías Renovables.....	22
2.7	El Horizonte 20-20-20.....	23
3.	CONSUMO DE ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN.....	24
3.1	Edificios Residenciales.....	25
3.2	No Residenciales.....	29
3.3	Normativa Aplicable.....	33
4.	DESCRIPCIÓN DE EDIFICIOS DE BALANCE CERO Y ESTRATEGIAS MÁS UTILIZADAS.....	36
4.1	Tipo de Balance Usado.....	36
4.2	Límites Temporales y Espaciales.....	37
4.3	Tipos de Usos de Energía.....	37
4.4	Fuentes Renovables.....	38
4.5	Valores Numéricos.....	38
5.	APLICACIÓN A UN CASO REAL EN LA COMUNIDAD VALENCIANA.....	40
5.1	Uso y horario.....	40
5.2	Cubierta.....	40
5.3	Envolvente.....	41
5.4	Sistema de Drenaje y Riego.....	42
5.5	Sistema de Climatización.....	44
5.6	Iluminación, Equipos y ACS.....	46
5.7	Especificaciones Para la Simulación Térmica.....	48
6.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA, CAMPAÑA DE MEDIDAS Y METODOLOGÍA DE PRUEBAS. ANÁLISIS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES.....	52
6.1	Instrumentación Utilizada.....	52
6.1.1	Medidas del edificio para su calificación energética.....	52
6.1.2	Medición de consumos del sistema de climatización.....	52
6.2	Campaña de Medidas.....	53
6.2.1	Sistema de climatización.....	53
6.2.2	Facturas eléctricas.....	54

6.2.3	Datos climatización .....	55
6.3	Metodología .....	56
6.4	Análisis de los Datos Experimentales .....	56
6.4.1	Simulación Calener .....	57
6.4.2	Equipos e iluminación .....	63
6.4.3	Climatización .....	66
6.4.4	Consumos mensuales (facturas) .....	68
6.4.5	Consumos diarios (facturas).....	70
6.4.6	Estimación curvas diarias por mes .....	75
6.4.7	Resumen curvas mensuales y diarias .....	81
7.	ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN RENOVABLE .....	84
7.1	Medidas de Eficiencia.....	84
7.1.1	Reducción de la demanda energética .....	84
7.1.2	Reducción del consumo energético .....	86
7.1.3	Resultados obtenidos mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética.....	94
7.2	Aplicación de Renovables.....	94
8.	PRESUPUESTO .....	100
8.1	Realización del Trabajo .....	100
8.2	Cambio Iluminación LEDs .....	101
8.3	Desconexión Automática Mediante Relé Automático .....	101
8.4	Variadores de Frecuencia del Sistema de Climatización.....	101
8.5	Cubierta Vegetal.....	102
8.6	Instalación Fotovoltaica .....	102
8.7	Costes Totales .....	103
8.8	Ahorros Económicos.....	103
8.9	Balance Económico .....	104
9.	CONCLUSIONES .....	106
10.	REFERENCIAS.....	108
	ANEXO 1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y DISPOSITIVOS. ....	110
	ANEXO 2. CÁLCULO DE LOS CONSUMOS MENSUALES DE ELECTRICIDAD DEL EDIFICIO .....	116
	ANEXO 3. CAPAS DE LA CUBIERTA VEGETAL PROPUESTA Y FOTOGRAFÍAS TOMADAS. ....	119
	ANEXO 4. PLANOS DEL EDIFICIO. ....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energía bruta (TJ) UE28.....	16
Figura 2: Consumo de energía bruta UE28 .....	17
Figura 3: Producción de energía primaria (TJ) .....	18
Figura 4: Importaciones y exportaciones de productos energéticos (TJ) .....	19
Figura 5: Evolución de la dependencia energética.....	19
Figura 6: Energía final por sectores.....	20
Figura 7: Evolución temporal de la producción de electricidad (GWh) .....	21
Figura 8: Producción de electricidad (2013) .....	21
Figura 9: Porcentaje de energías renovables en el consumo bruto.....	22
Figura 10: Porcentaje de renovables en la producción de electricidad .....	22
Figura 11: Consumo de energía final por sectores (UE-28) .....	24
Figura 12: Consumo de energía final por sectores (España).....	25
Figura 13: Evolución del sector residencial por fuentes energéticas (UE-28) (TJ) .....	26
Figura 14: Principales fuentes energéticas en el sector residencial UE-28 (2013) .....	26
Figura 15: Evolución del sector residencial por fuentes energéticas (España) (TJ) .....	27
Figura 16: Principales fuentes energéticas en el sector residencial España (2013).....	28
Figura 17: Producción de electricidad por fuentes energéticas (España).....	28
Figura 18: Usos no residenciales (%superficie) .....	30
Figura 19: Usos no residenciales (%número) .....	30
Figura 20: Consumo de energía final en el sector no residencial .....	31
Figura 21: Usos energéticos en el sector no residencial .....	32
Figura 22: Fuentes energéticas en el sector servicios.....	33
Figura 23: Capas y espesores de la cubierta invertida. ....	41
Figura 24: Cubierta de grava .....	41
Figura 25: Composición de las paredes internas.....	42
Figura 26: Sistema de drenaje del edificio. ....	43
Figura 27: Sumidero en la cubierta .....	43
Figura 28: Depósito de agua de riego .....	44
Figura 29: Placa solar del sistema de riego .....	44
Figura 30: Unidades exteriores de climatización .....	45
Figura 31: Zonas climatizadas, unidades exteriores e interiores. ....	45
Figura 32: Efecto de la luz natural.....	46
Figura 33: Ejemplo iluminación de los locales .....	47
Figura 34: Equipos de oficina .....	48
Figura 35: Acumulador de agua caliente.....	48
Figura 36: Patio interior .....	49
Figura 37: Árboles de la fachada Sur del edificio .....	49
Figura 38: Cornisas .....	50
Figura 39: Claraboyas .....	50
Figura 40: Consumo registrado de la unidad interior de climatización .....	54
Figura 41: Ejemplo factura eléctrica .....	55
Figura 42: Área del estudio del greenroof .....	55

Figura 43: Edificio AutoCAD .....	57
Figura 44: Simulación 3D del edificio .....	58
Figura 45: Ocupación sensible, intensidad media 12 horas (W/m <sup>2</sup> ) .....	58
Figura 46: Ocupación latente, intensidad media 12 horas (W/m <sup>2</sup> ) .....	59
Figura 47: Simulación Calener del edificio .....	60
Figura 48: Sistemas de climatización Calener .....	61
Figura 49: Resultados Calener certificación energética .....	61
Figura 50: Resultados Calener completos .....	62
Figura 51: Horarios de uso del edificio (equipos e iluminación) .....	64
Figura 52: Curva diaria de potencia en iluminación y equipos (kW).....	65
Figura 53: Reparto horario del consumo en calefacción .....	66
Figura 54: Reparto horario del consumo en refrigeración.....	67
Figura 55: Consumos mensuales según facturas (kWh) .....	69
Figura 56: Comparación mensual, consumos y grados día .....	70
Figura 57: Curva diaria festivos (invierno-verano) (kW) .....	71
Figura 58: Curva diaria festivos (kW) .....	72
Figura 59: Curva diaria invierno (kW).....	73
Figura 60: Curva diaria verano (kW).....	73
Figura 61: Curva diaria modificada invierno (kW).....	74
Figura 62: Curva diaria modificada verano (kW).....	75
Figura 63: Consumos mensuales en climatización (kWh) .....	77
Figura 64: Reparto horario del consumo en refrigeración y calefacción .....	78
Figura 65: Curva diaria de potencia en climatización (kW).....	78
Figura 66: Curva diaria de potencia total Febrero (kW).....	79
Figura 67: Curva diaria de potencia total Julio (kW) .....	80
Figura 68: Curva diaria de potencia total Abril (kW).....	80
Figura 69: Consumos mensuales totales (kWh) .....	82
Figura 70: Superficie ocupada por la cubierta vegetal propuesta .....	85
Figura 71: Exigencias bienestar, velocidad máxima del aire .....	87
Figura 72: Variador de frecuencia .....	88
Figura 73: Lámpara LED .....	90
Figura 74: Resultados Calener tras la sustitución del sistema de iluminación .....	91
Figura 75: Relé temporizador .....	93
Figura 76: Irradiancia recibida y electricidad producida por el sistema fotovoltaico .....	96
Figura 77: Medidas de los paneles fotovoltaicos .....	97
Figura 78: Superficie ocupada por la instalación fotovoltaica .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parque edificatorio no residencial.....	29
Tabla 2: Usos energéticos en el sector no residencial .....	32
Tabla 3: Equipos y dispositivos del edificio, potencias. ....	47
Tabla 4: Comparación resultados Calener y objetivos NZEB .....	63
Tabla 5: Equipos, potencias, horas de utilización y consumos .....	64
Tabla 6: Equipos y potencias stand-by.....	65
Tabla 7: Reparto de meses en estaciones anuales.....	69
Tabla 8: Periodos recogidos en las facturas .....	70
Tabla 9: Reparto mensual del consumo en climatización .....	76
Tabla 10: Variación de la cubierta vegetal .....	84
Tabla 11: Ahorros del variador de frecuencia .....	89
Tabla 12: Variación de la implantación de lámparas LEDs.....	91
Tabla 13: Consumos residuales del edificio .....	92
Tabla 14: Ahorros al eliminar los consumos residuales del sistema de climatización.....	93
Tabla 15: Ahorros al reducir los consumos residuales de los equipos.....	94
Tabla 16: Resultados finales de las medidas de eficiencia.....	94
Tabla 17: Coste de realización del trabajo .....	100
Tabla 18: Coste de la sustitución del sistema de iluminación.....	101
Tabla 19: Cantidad de lámparas LEDs instaladas .....	101
Tabla 20: Coste de la instalación del relé automático .....	101
Tabla 21: Coste de los variadores de frecuencia de las unidades interiores .....	102
Tabla 22: Coste de la cubierta vegetal .....	102
Tabla 23: Coste de la instalación fotovoltaica.....	102
Tabla 24: Costes totales .....	103
Tabla 25: Precio estimado de la energía .....	104
Tabla 26: Ahorro económico de las medidas propuestas .....	104
Tabla 27: Tiempo de retorno de las diferentes medidas .....	104



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objetivo y Motivación

El objetivo del presente trabajo es estudiar la situación energética a nivel europeo y español, prestando especial atención al sector de la edificación. De esta manera, se busca analizar los principales problemas o retos a los que se enfrentan los países europeos en temas económicos, energéticos y medioambientales.

El concepto de Edificio de Consumo Casi Nulo engloba gran parte de los campos anteriormente nombrados y surge de esta necesidad de solventar o reducir esta serie de problemas energéticos, en relación con el sector de la edificación. De manera que el trabajo busca estudiar en profundidad los conceptos relacionados con este tipo de edificios, así como la normativa y definiciones al respecto.

Además, la aplicación de este concepto y el contexto analizado, se concreta en el análisis energético de un edificio de la Comunidad Valenciana, sobre el que se estudiarán sus consumos y demandas, se propondrán diversas mejoras de eficiencia y se proyectará la implantación de una instalación fotovoltaica para cubrir parte de su demanda, con el objetivo de transformar el edificio en un NZEB (Nearly Zero Energy Building)

De esta manera, tras el análisis de las diferentes medidas y soluciones propuestas, se realizará un análisis económico que permitirá evaluar la viabilidad de estas propuestas y, por tanto, la viabilidad de los NZEB.

## 1.2 Estructura

El desarrollo del trabajo consta de los siguientes puntos principales:

- Contexto energético
- Sector de la edificación
- Concepto de Edificio de Consumo Casi Nulo
- Descripción del edificio concreto
- Certificación energética
- Análisis de consumos diarios
- Medidas de eficiencia energética
- Instalación fotovoltaica
- Análisis económico
- Conclusiones



## 2. REVISIÓN DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL A NIVEL EUROPEO

Para analizar la importancia que tiene realizar un estudio sobre los Edificios de Consumo Casi Nulo e intentar aplicar la teoría a un caso existente, se debe conocer el contexto energético en el que nos encontramos, tanto a nivel europeo, como nacional y regional.

A partir de la situación actual y teniendo en cuenta el marco legal y los objetivos propuestos para los próximos años, analizaremos la importancia de reducir el consumo energético mediante eficiencia, aumentar el porcentaje de energía obtenida a partir de fuentes renovables y el papel que en todo ello tiene el sector de la edificación.

Se comenzará analizando el consumo energético y la procedencia de la electricidad que se consume en Europa. Todo ello, relacionado con el uso final que se da a esta energía. De esta manera, también se estudiará la dependencia que tienen los países europeos con otros países a nivel de importaciones y exportaciones de energía y recursos energéticos. Por último, se repasará brevemente los objetivos que se proponen a nivel europeo y nacional, y la importancia y papel que tienen los edificios de consumo casi nulo en estos objetivos y esta tendencia hacia la eficiencia y las energías verdes. La mayor parte de datos utilizados en el análisis de la situación energética europea han sido obtenidos de la base de datos de EUROSTAT [1]

### 2.1 Consumo Interior Bruto de Energía.

El consumo de energía en la UE-28 fue un 1% menor en 2012 que en el año anterior.

A pesar de que el consumo energético de la Unión Europea se ha mantenido más o menos constante en las últimas dos décadas (exceptuando el claro descenso producido en 2009 como consecuencia de la crisis económica), es cierto que en los últimos años, se observa una ligera tendencia descendente en este consumo total de energía (Figura 1).

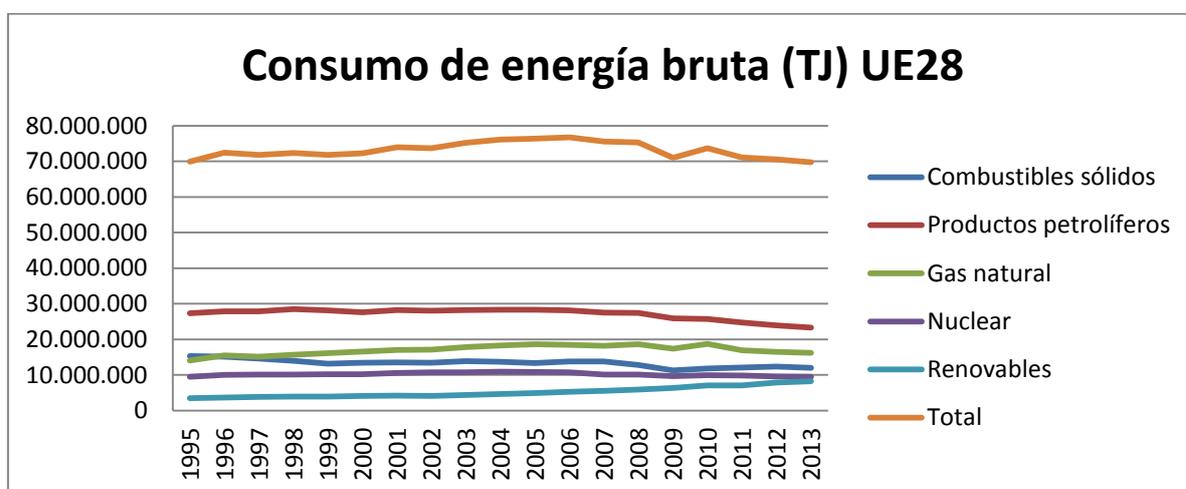


Figura 1: Consumo de energía bruta (TJ) UE28  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Este descenso está provocado por dos razones principales: un ligero estancamiento en el crecimiento económico de muchos de los países miembros de la UE, y una mejora de la eficiencia de muchos de los procesos productivos e industriales, así como una mejora de la eficiencia en el uso de esta energía y una política general de ahorro energético en multitud de aspectos de la sociedad.

Sin embargo, dentro de esta tendencia decreciente, se distinguen diferencias entre las distintas fuentes energéticas. Los productos petrolíferos, sufrieron la mayor caída (4%), mientras que las fuentes renovables tuvieron una tendencia ascendente de notable importancia (9%).

Sin embargo, las fuentes convencionales, en concreto los productos petrolíferos, el gas natural y los combustibles sólidos, siguen teniendo un elevado peso en el total energético (74% en 2012), como se observa en la Figura 2. Es decir, las fuentes tradicionales, y en gran parte importadas, a pesar de ir perdiendo lentamente importancia en el total del consumo, siguen siendo con gran diferencia las principales fuentes energéticas consumidas en la UE, lo cual implica un alto grado de dependencia energética del exterior y de inseguridad a medio y largo plazo, como analizaremos más adelante.

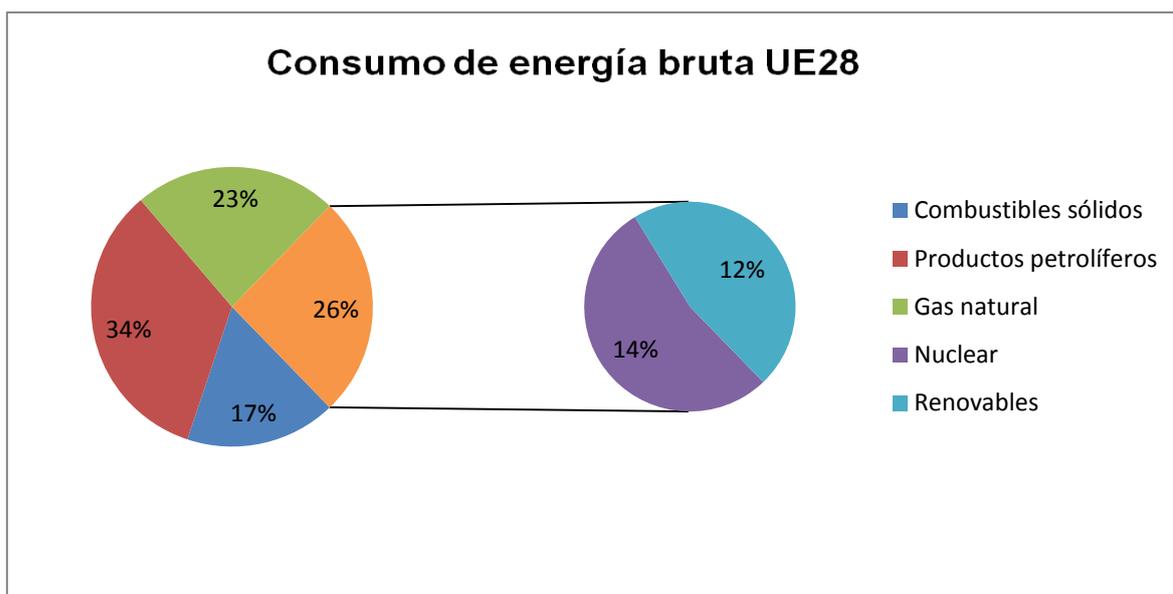


Figura 2: Consumo de energía bruta UE28  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

## 2.2 Energía Primaria.

Respecto a la producción de energía primaria, se observan tendencias muy similares a las del consumo bruto. A pesar de que el total descendió solo un 1% respecto al anterior año (2011), las variaciones anuales difieren entre las diferentes fuentes de energía. De esta manera, mientras que el petróleo sufrió un descenso del 10%, seguido del gas natural (6%), las fuentes de energía renovable incrementaron su producción un 9%.

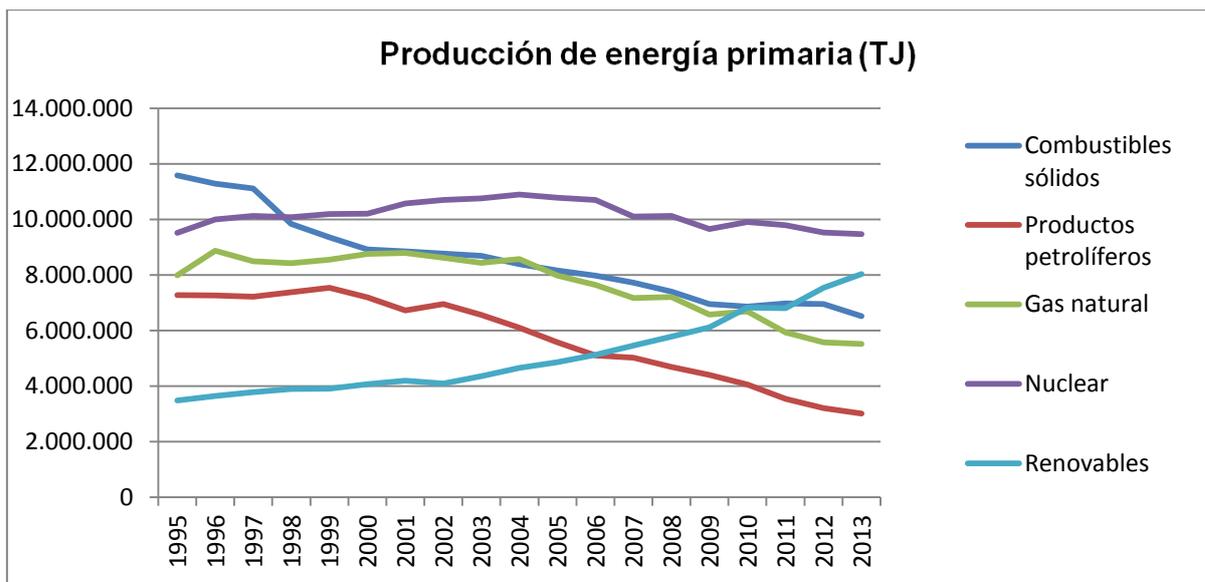


Figura 3: Producción de energía primaria (TJ)  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Estas tendencias se cumplen también si se analizan años posteriores, como se puede ver en la Figura 3, los productos petrolíferos y el gas tienen una tendencia decreciente, al contrario que las fuentes de energía renovable.

Esta diferencia en la evolución de las diferentes fuentes energéticas es una clara muestra de la política y los objetivos energéticos, que buscan una mayor participación de energía renovable en el mix energético, mientras los combustibles sólidos, gas y petróleo van perdiendo importancia en el mismo.

Cabe destacar que la energía nuclear, que apenas ha variado su producción en los últimos 25 años, continua siendo la fuente de energía primaria de mayor importancia en la UE (29% en 2012), a pesar de que la política seguida por algunos países indica que a medida que las centrales nucleares existentes vayan cumpliendo su ciclo de vida útil, la contribución de esta fuente energética al total producido irá disminuyendo.

### 2.3 Importaciones y Exportaciones.

La Unión Europea tiene una gran dependencia exterior de los recursos energéticos, sobre todo de hidrocarburos. Esto supone una inseguridad de abastecimiento que obliga a mantener lazos con países, normalmente de otros continentes, de manera que se asegure el aprovisionamiento de estos recursos necesarios para el funcionamiento de los países.

Actualmente, aproximadamente el 53.4% de la energía que se consume en la UE es importada, el 82% del petróleo y el 58% del gas natural.

La disminución de producción de energía primaria en esta última década ha supuesto un aumento en las importaciones, como ya se ha señalado, principalmente de gas natural y crudo (Figura 4).

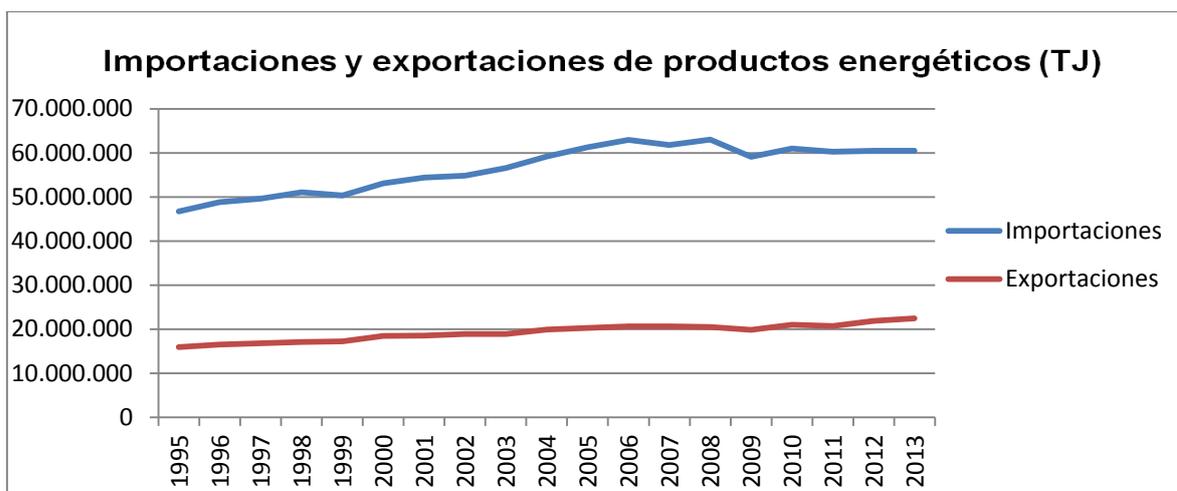


Figura 4: Importaciones y exportaciones de productos energéticos (TJ)

Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Las exportaciones, sin embargo, son muy inferiores, lo cual supone este saldo negativo señalado anteriormente, que produce un gran gasto económico, además de una importante dependencia energética del exterior.

Esta dependencia se ve resumida en la Figura 5. En ella, se puede observar la diferencia entre la producción de energía (barras rellenas) y la energía importada de cada una de esas fuentes (barras ralladas). Se hace notable la gran diferencia que existe (dependencia energética) en los productos petrolíferos y los combustibles sólidos, mientras que las renovables y la energía nuclear ayudan a reducir la importación de energía.

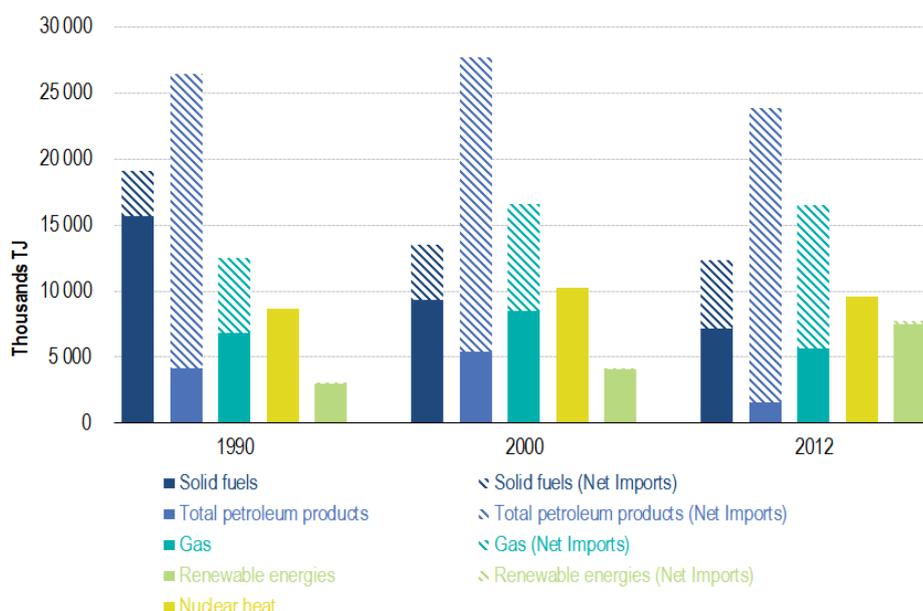


Figura 5: Evolución de la dependencia energética

Fuente: EUROSTAT

## 2.4 Energía Final.

Respecto a la energía final consumida en la UE-28, la evolución en los últimos años es similar a la de la energía primaria consumida, observándose también un descenso de los usos no renovables y un aumento de los provenientes de fuentes renovables, que en su conjunto suponen un descenso ligero en los últimos años del total de energía final consumida en la UE.

Un análisis del consumo de energía final por sectores (Figura 6), muestra la importancia del sector residencial, que junto con el industrial y el transporte por carretera, suponen la mayor parte del consumo. En cuarto lugar, se encuentra el sector servicios, sector de gran importancia en el total del sector de la edificación.

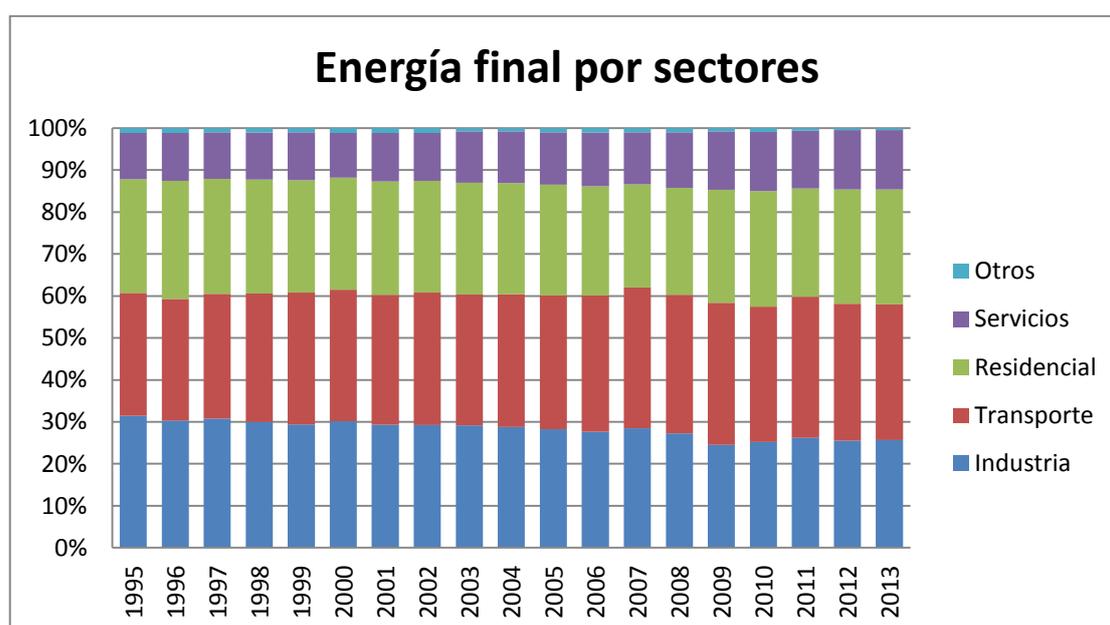


Figura 6: Energía final por sectores  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

## 2.5 Producción de Electricidad.

La electricidad supuso en 2012 un 22% de la energía final total, y debido a la gran variedad de fuentes energéticas usadas en la producción de esta electricidad, conviene realizar un análisis específico de ella. La generación de electricidad ha sufrido una evolución muy parecida a la producción y consumo de energía en la Unión Europea. Destaca un notable descenso en 2009 con motivo de la crisis económica, y una ligera recuperación los años posteriores, estabilizándose en 2011 y 2012 en valores ligeramente inferiores a los de 2008.

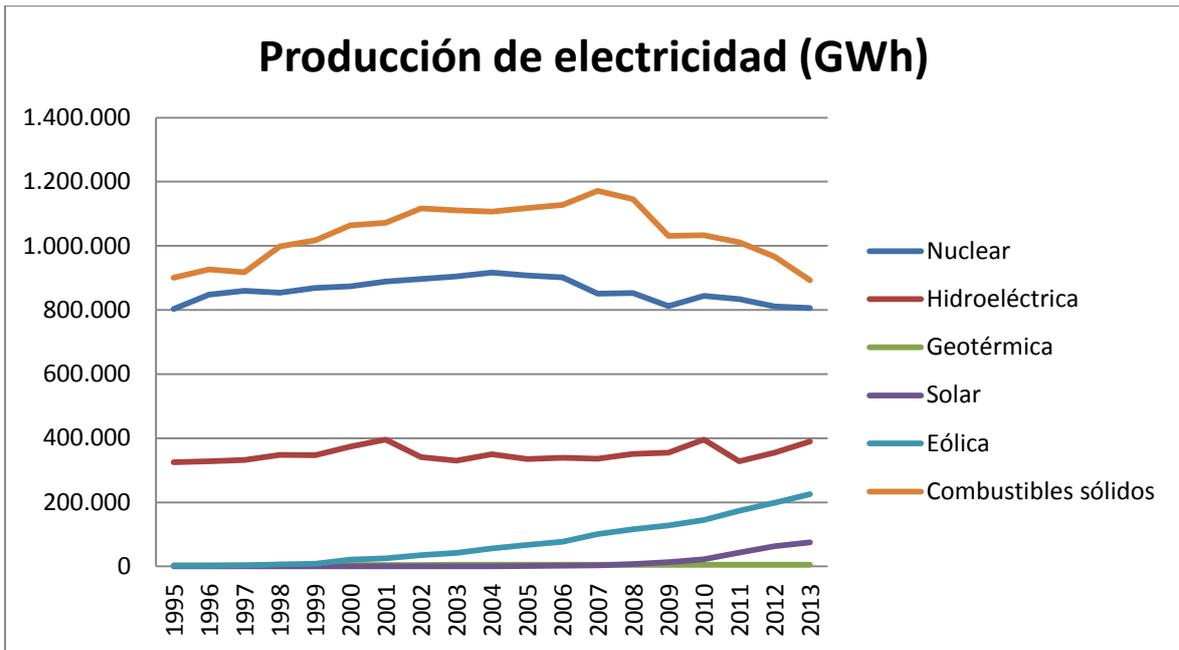


Figura 7: Evolución temporal de la producción de electricidad (GWh)

Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

De entre las diversas fuentes energéticas que se utilizan para producir electricidad, mostradas en la Figura 7, destacan las no renovables, como son los combustibles fósiles y la nuclear. La electricidad procedente de energías renovables, pese a tener una tendencia positiva en la última década, continúa teniendo un papel secundario en el mix eléctrico europeo (29%). Destaca de entre estas fuentes renovables, la energía hidroeléctrica y la eólica (Figura 8).

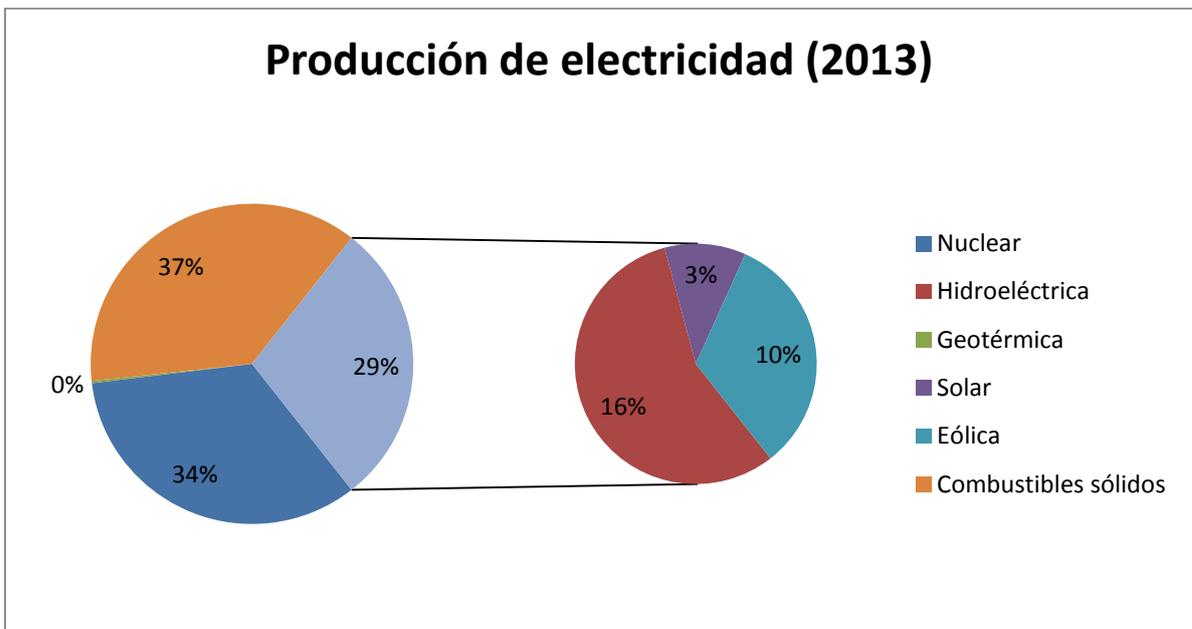


Figura 8: Producción de electricidad (2013)

Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

## 2.6 Contribución de las Energías Renovables.

Como ya se ha ido analizando, las energías renovables tienen una importancia reducida, tanto en el mix energético, como en el mix eléctrico de la Unión Europea. Sin embargo, existe una tendencia ascendente en su uso, y las diferentes políticas y medidas de los países europeos intentan incrementar el porcentaje de energía que se produce y se consume que proviene de fuentes renovables.

Se puede ver este aumento de uso en la Figura 9, que representa el porcentaje de energías renovables en el consumo de energía bruto a lo largo de la última década, y el objetivo a alcanzar en 2020 (TARGET).

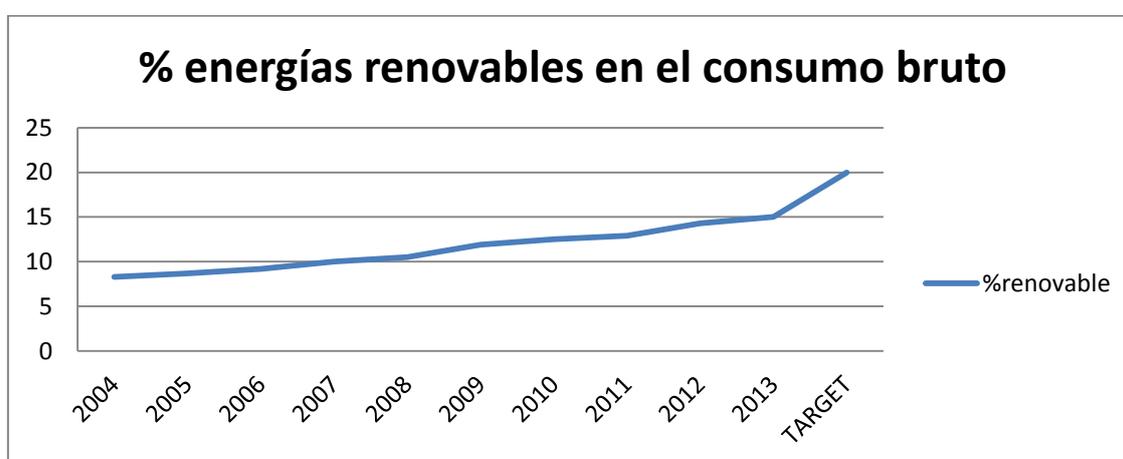


Figura 9: Porcentaje de energías renovables en el consumo bruto  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Mientras que si analizamos la evolución de la última década en términos de porcentaje de electricidad producida mediante fuentes renovables en el conjunto de la UE (Figura 10), observamos esa clara tendencia ascendente ya comentada anteriormente.

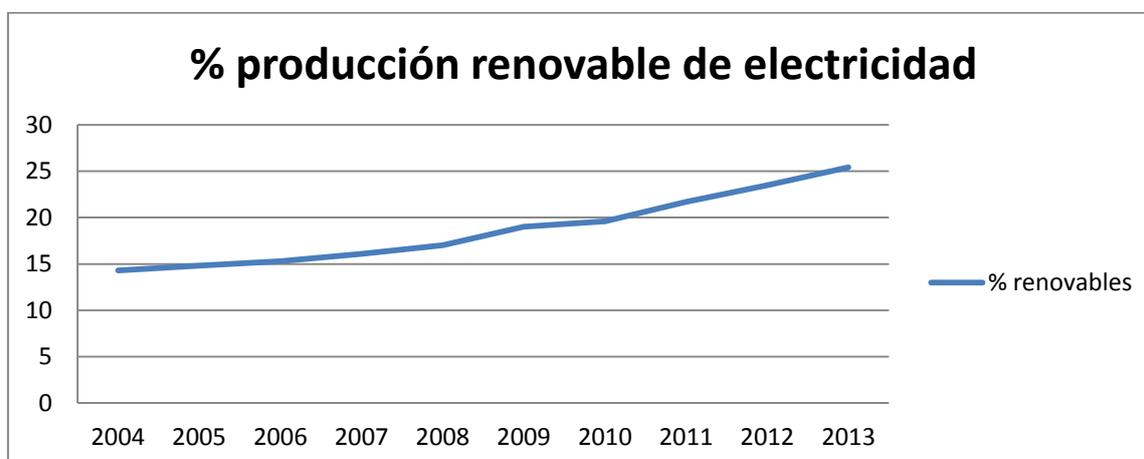


Figura 10: Porcentaje de renovables en la producción de electricidad  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

En este caso, no existe un objetivo específico para 2020. Sin embargo, los valores porcentuales de producción de electricidad a partir de fuentes renovables son mayores que los de consumo total. Esto es debido al gran peso que tienen los productos petrolíferos (sector del transporte) en el consumo bruto total.

## 2.7 El Horizonte 20-20-20

Los estados miembros de la Unión Europea se comprometieron en 2008 a cumplir tres objetivos principales, en relación a los problemas medioambientales:

- Reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reducir un 20% el consumo de energía primaria.
- Conseguir un 20% de producción de energía renovable.

Estos tres retos planteados por las autoridades europeas buscan mejorar la situación actual respecto a tres aspectos comentados ya anteriormente:

- Disminuir la dependencia energética de los países europeos.
- Ralentizar el cambio climático.
- Mejorar la competitividad y el ahorro económico.

Cabe destacar que el 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> corresponden al sector de la edificación (tanto edificios residenciales como comerciales). El potencial de ahorro energético en este sector se estima en un 30%, lo cual supondría un gran avance en la consecución de los objetivos totales.

Como es lógico, los tres retos propuestos en el horizonte 20-20-20 se resumen en dos frentes claros:

- Mejora de la eficiencia energética.
- Aumento en el uso de renovables.

La mejora de la eficiencia energética en la construcción, procesos industriales, uso de energía, transformación de recursos energéticos, etc. supondría poder reducir el consumo de energía primaria sin necesidad de disminuir la actividad económica de los países. Esta reducción de consumo de energía supondría un descenso en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En segundo lugar, aumentar la producción de energía proveniente de fuentes renovables además de ser uno de los objetivos, está completamente relacionado con la reducción de emisiones, ya que las fuentes renovables suelen ser fuentes más limpias en este sentido.

De esta manera, queda de manifiesto la gran importancia de implementar planes energéticos para los edificios, que incluyan eficiencia energética y energías renovables. Todo ello englobado en el estudio e implementación de edificios de consumo casi nulo.

### 3. CONSUMO DE ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN

El sector de la edificación tiene un gran peso a nivel de consumo energético total de la UE (aproximadamente un 40%), como se puede ver en la Figura 11, si se considera que este sector está formado principalmente por el sector residencial y el sector servicios.

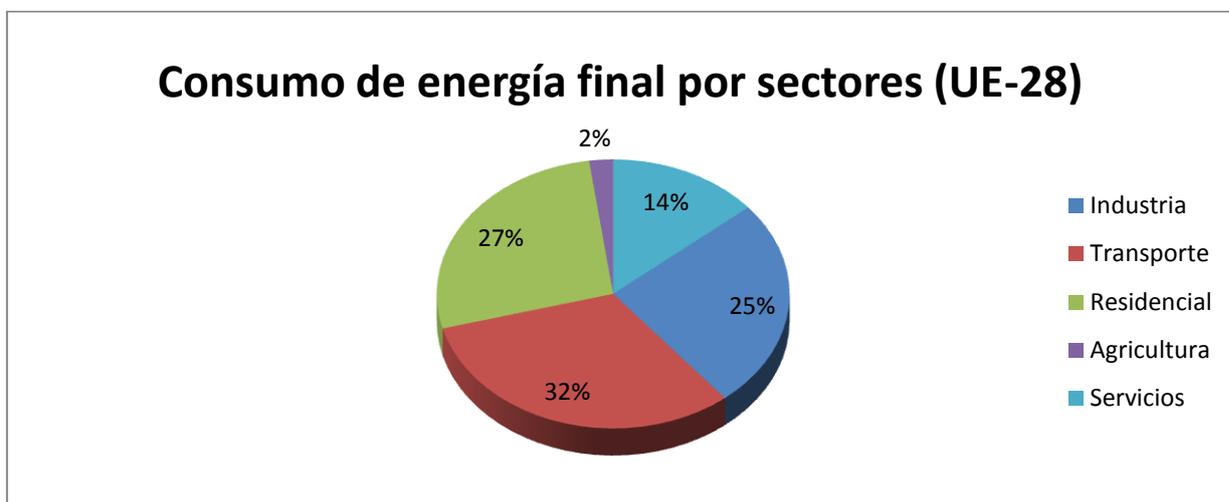


Figura 11: Consumo de energía final por sectores (UE-28)  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Y las previsiones apuntan a un incremento de esta importancia en los años próximos. Además, su alto potencial de ahorro mediante eficiencia energética y el consumo de energía renovable son factores que propician que sea un campo frecuentemente estudiado y analizado en la búsqueda de estas mejoras.

Al mismo tiempo, sin embargo, es un sector muy diverso y heterogéneo, lo cual dificulta normalmente el planteamiento e implementación de medidas generales.

En España, algo más de un cuarto de la energía final total es consumida en el sector de la edificación (Figura 12).

## Consumo energía final por sectores (España)

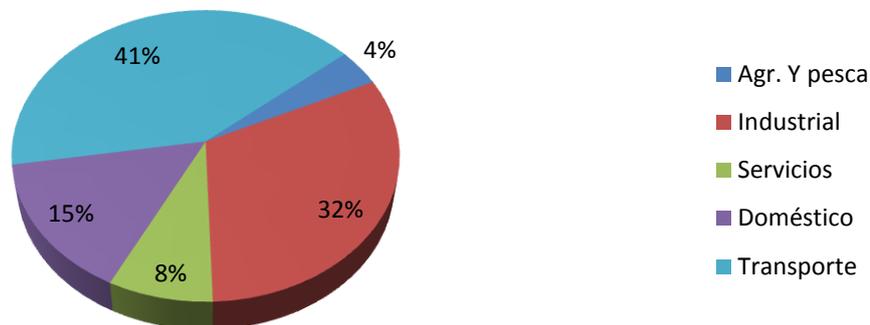


Figura 12: Consumo de energía final por sectores (España)

Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Sin embargo, al ser un sector muy diverso y que, normalmente, no se estudia de manera independiente, se deberá dividir el parque edificatorio español según sus principales usos y tipologías.

Para conocer el parque edificatorio europeo y español y sus consumos característicos se dividirán los edificios, en primer lugar, en dos grandes grupos: residenciales y no residenciales.

### 3.1 Edificios Residenciales

En España, y en términos de energía final, significa el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica. Mientras que a nivel de la Unión Europea supone el 25% y el 29%, respectivamente.

Es por ello que el sector doméstico tiene una gran importancia a nivel nacional y a nivel europeo en las diferentes políticas, medidas y propuestas que buscan resolver los problemas energéticos y medioambientales de los países.

Mediante planificaciones energéticas se pretende dar importancia a las fuentes de energías autóctonas y renovables, al mismo tiempo que se reduce la demanda a cubrir, mediante la aplicación de medidas de ahorro y eficiencia energética.

En concreto, se estima, con horizonte 2020, un ahorro energético del 27% en el sector residencial en la Unión Europea.

A continuación, se analizará el consumo energético en los hogares (europeos y españoles), en base a los diferentes recursos energéticos usados, los diferentes usos que se da a estos recursos y la importancia de las renovables en el total de energía final consumida. Todo ello con el objetivo de conocer el estado actual del sector doméstico o residencial y así poder estudiar qué medidas sería conveniente implementar para mejorar esta situación.

La Figura 13 muestra la evolución del consumo residencial de la UE-28, dividido en las principales fuentes energéticas utilizadas.

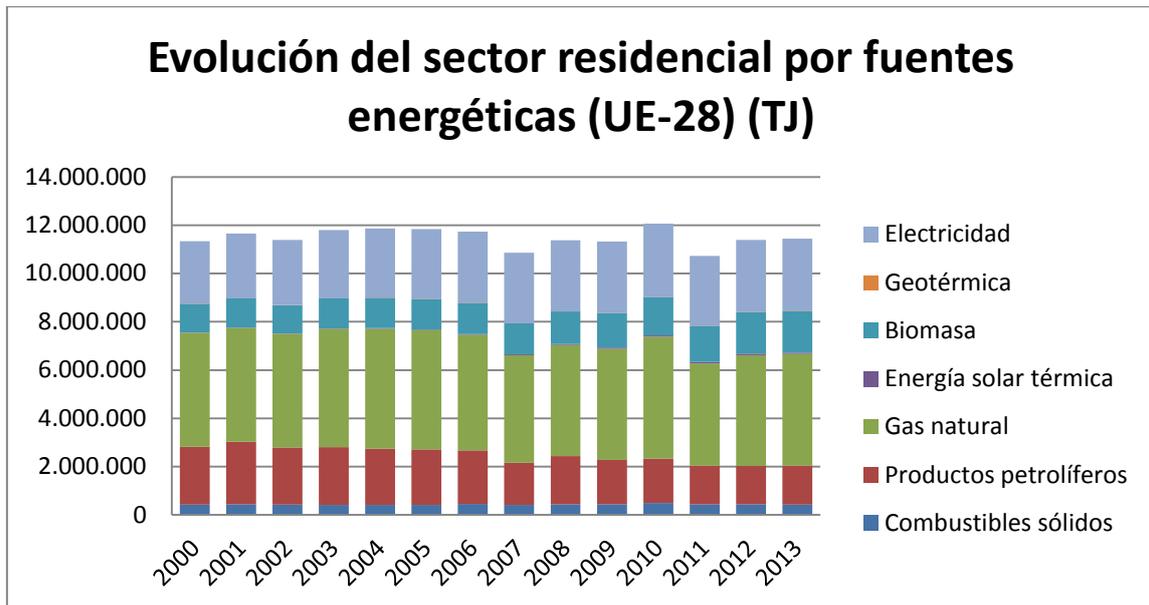


Figura 13: Evolución del sector residencial por fuentes energéticas (UE-28) (TJ)  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

La mayor parte de la energía se consume en forma de combustibles, principalmente gas natural y productos petrolíferos, usados en su mayoría para calefacción y agua caliente sanitaria. Durante la última década, el consumo en el sector residencial se ha mantenido más o menos constante, sin sufrir grandes variaciones, aunque sí que han variado los porcentajes de uso de cada fuente energética. Principalmente, se observa una disminución del peso de los productos petrolíferos en el total consumido, y un ligero aumento de la biomasa y la electricidad. Esto confirma la tendencia ascendente del uso de energías renovables, también en el sector residencial, a pesar de que como se puede observar en la Figura 14, este uso de fuentes renovables sigue siendo muy residual.

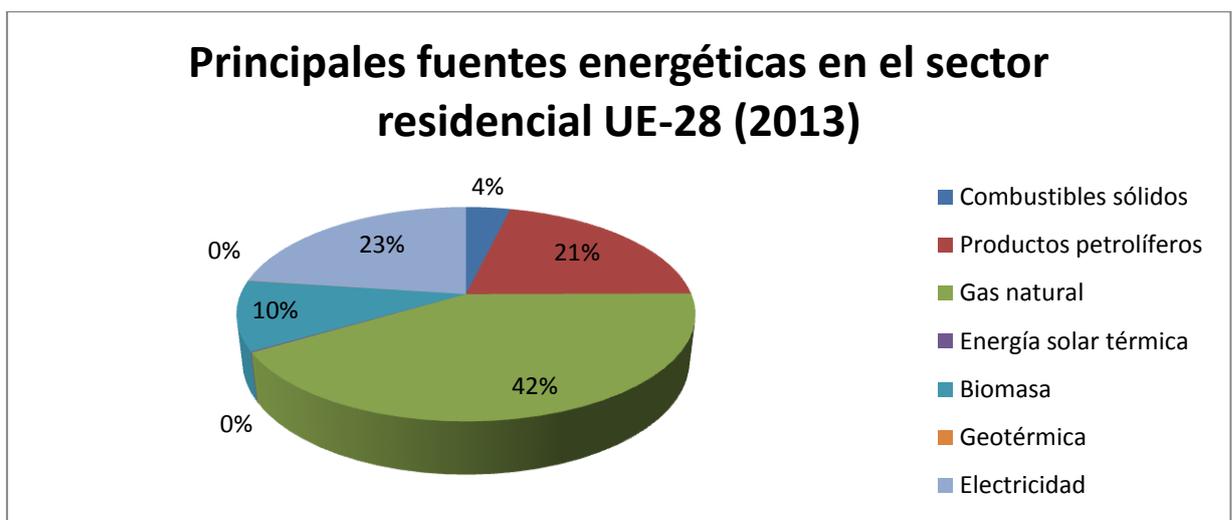


Figura 14: Principales fuentes energéticas en el sector residencial UE-28 (2013)  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

El uso térmico de fuentes renovables en los hogares (geotermia, solar y biomasa) se mantiene en valores muy bajos (10%). Sin embargo, cabe destacar que del 23% que supone el consumo en energía eléctrica, parte proviene de fuentes renovables (hidroeléctrica, eólica, solar...) como ya se ha analizado en el contexto energético europeo.

En la Figura 15 aparece la evolución del consumo residencial, dividido por fuentes energéticas, de España.

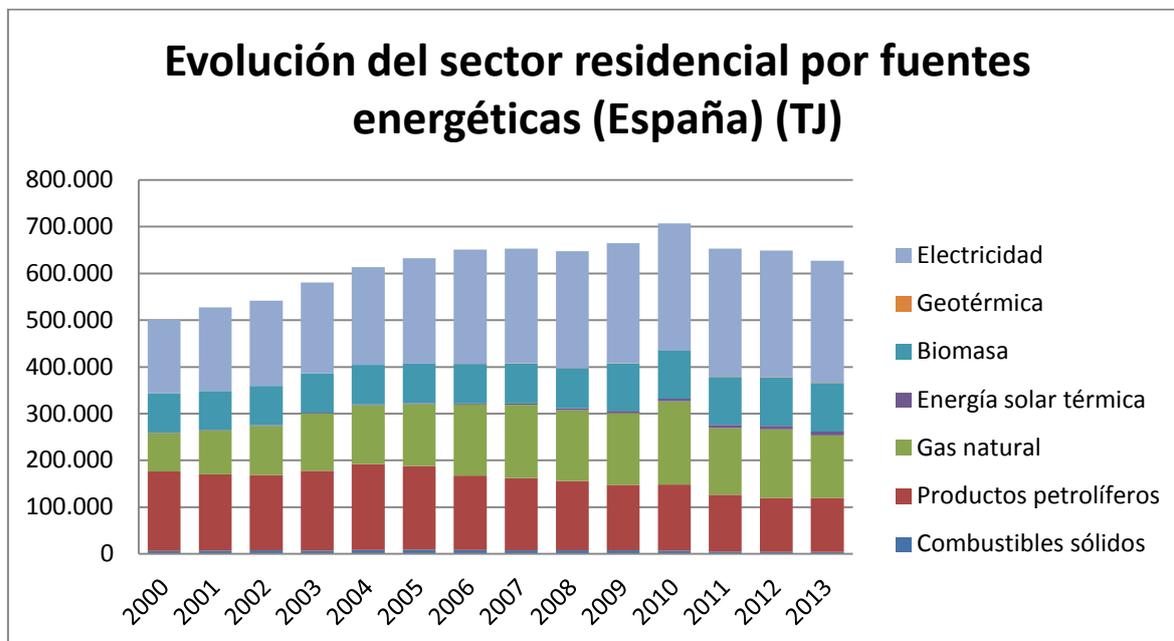


Figura 15: Evolución del sector residencial por fuentes energéticas (España) (TJ)  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

En este caso, sí que se puede apreciar dos tendencias claras en el total consumido en los hogares españoles. En primer lugar, un aumento del consumo, aunque con algún año de estabilidad, entre los años 2000 y 2010, probablemente debido al aumento de población y de casas construidas y utilizadas. En segundo lugar, a partir de 2010 el consumo desciende, llegando a valores cercanos a 2004. Esto es debido a la crisis económica sufrida en el país, que produjo una fuerte caída del sector de la construcción y, en general, del consumo de las familias.

La evolución por fuentes energéticas se puede dividir en dos grandes grupos:

- Con tendencia ascendente: destacan la electricidad, la biomasa y, ligeramente, el gas natural. Además, a pesar de no apreciarse en la gráfica, en los últimos años ha aumentado notablemente el uso de la energía geotérmica y solar térmica.
- Con tendencia descendente: destacan los productos petrolíferos, debido al encarecimiento de los mismos y la apuesta por fuentes energéticas más limpias y renovables.

Como ocurría con la Unión Europea, en España, pese a haber un aumento en los últimos años del uso de renovables, el peso sobre el total consumido sigue siendo muy bajo (Figura 16). Sin embargo, destaca la biomasa (17%) y las renovables incluidas en el consumo de electricidad.

## Principales fuentes energéticas en el sector residencial España (2013)

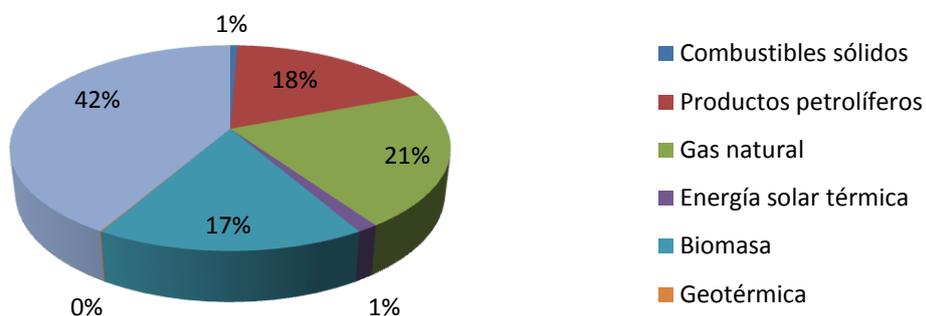


Figura 16: Principales fuentes energéticas en el sector residencial España (2013)

Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Para saber de manera más exacta, qué porcentaje de renovables producen la energía que se consume en los hogares españoles, es necesario conocer cómo se reparte la electricidad producida entre las diferentes fuentes energéticas. En la Figura 17 se muestra el mix eléctrico español, donde se observa que las fuentes renovables producen cerca de un 45% del total.

## Mix eléctrico español

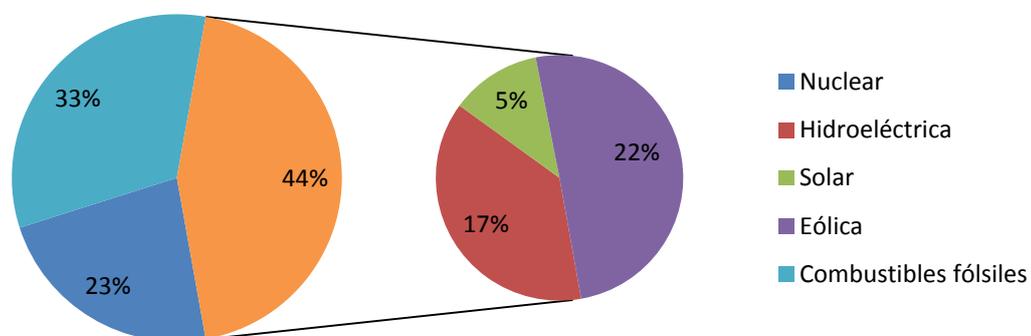


Figura 17: Producción de electricidad por fuentes energéticas (España)

Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

En resumen, la energía consumida en el sector residencial español tiene mayor procedencia renovable (cerca del 36%) que la consumida en el sector residencial europeo (cerca del 17%), ya que:

- La energía renovable con uso térmico en la UE-28 supone un 10% del total, frente al 18% en el caso español.

- La electricidad consumida en este sector en el caso europeo supone un 23% del total, de la cual el 29% es producido a partir de fuentes renovables. En España, la electricidad supone un 42% del consumo total, y un 44% de esta electricidad procede de fuentes renovables.

### 3.2 No Residenciales

El caso práctico en el que se centra el presente trabajo es un edificio no residencial situado en Benaguacil (España), de manera que se analizará de manera más detallada que tipo de usos no residenciales predominan en España, así como que consumo y usos de la energía son los más importantes.

Hay que tener en cuenta que la heterogeneidad del campo es mucho mayor, lo que complica el análisis. Debido a la variedad de usos, tipos de edificios, exigencias, características constructivas, etc. se descompondrá, en primer lugar, el parque edificatorio español no residencial según tipologías de uso, para tener una idea general de que tipos de edificios existen y cuales son más abundantes e importantes a nivel de superficie ocupada.

En la Tabla 1 se pueden ver que usos son más abundantes en número de edificios y cuáles son más abundantes en superficie total, ya que estos dos indicadores no siempre coinciden.

<b>Parque edificatorio no residencial</b>	Superficie de inmuebles por usos (m <sup>2</sup> )	Número de inmuebles por usos
<b>NO RESIDENCIAL</b>	<b>1.992.915.303</b>	11.894.635
<b>Terciario, servicios y equipamientos</b>	<b>825.585.829</b>	1.967.237
Oficinas	111.291.436	283.352
Comercial	223.541.711	1.295.359
Deportivo	201.004.443	57.926
Espectáculos	8.085.756	5.303
Ocio y hostelería	107.481.444	196.868
Sanidad y Beneficencia	48.131.972	37.382
Cultural	97.067.969	47.582
Religioso	28.981.098	43.465
<b>Industrial</b>	<b>704.912.001</b>	1.703.522
Industrial	704.912.001	1.703.522
<b>Almacén-Estacionamiento</b>	<b>345.084.908</b>	7.984.295
Almacén-Estacionamiento	345.084.908	7.984.295
<b>Otros</b>	<b>117.332.565</b>	239.581
Obras de urbanismo	34.931.671	147.089
Edificio singular	35.344.920	25.266
Almacén agrario	4.325.437	8.800
Industrial Agrario	42.730.537	58.426

Tabla 1: Parque edificatorio no residencial  
Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Fomento

De entre los principales usos no residenciales que aparecen en las tablas, se descontará el uso industrial ya que la mayor parte del consumo energético que alberga es debido a los procesos industriales en sí. A su vez, no se tendrán en cuenta tampoco los usos de almacén y estacionamiento, ya que, a pesar de tener una elevada importancia en número de inmuebles y superficie ocupada, tienen una intensidad energética despreciable.

Por lo tanto, con el objetivo de simplificar la gran diversidad de usos, seleccionamos los seis que cubren el 91% en superficie y el 96% en número de edificios:

De esta manera, el sector quedaría repartido de acuerdo a lo mostrado en la Figura 18 y la Figura 19:

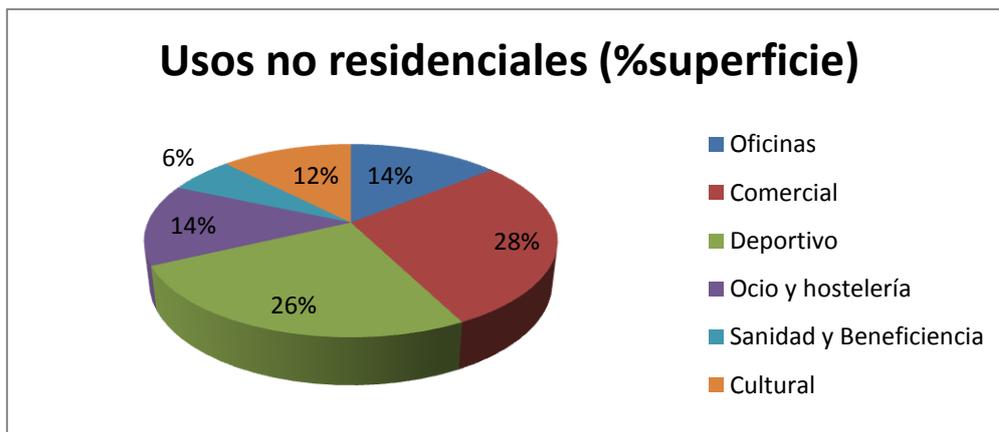


Figura 18: Usos no residenciales (%superficie)  
Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Fomento

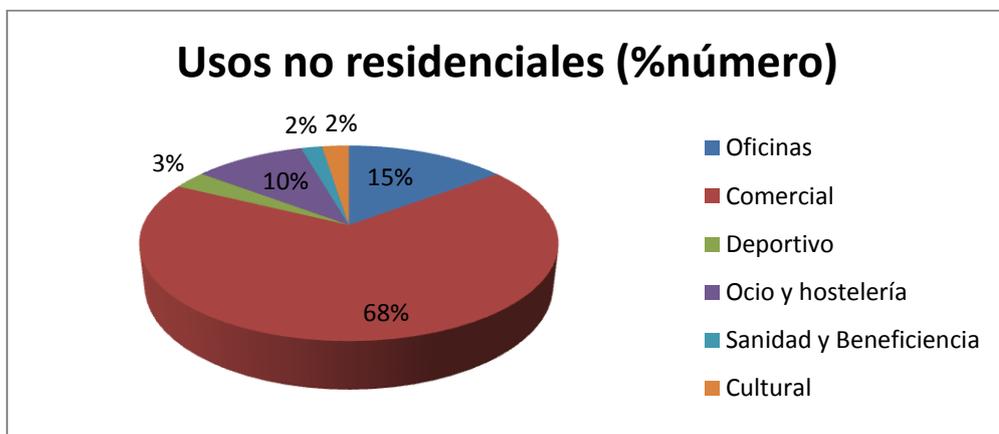


Figura 19: Usos no residenciales (%número)  
Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Fomento

Se pueden observar diferencias claras entre el porcentaje de algunos sectores respecto al número de edificios y la superficie ocupada. Por ejemplo, el sector deportivo (pocos edificios pero con gran superficie) y el sector comercial (muchos edificios, pero en su mayoría de tamaño reducido)

Existen peculiaridades, también, en el consumo energético de los edificios no residenciales. A pesar de que en cantidad y en superficie el sector residencial es mucho más numeroso que el

sector no residencial, en términos de consumo, el no residencial supone un 35% del total de la edificación.

A continuación, la Figura 20 muestra los principales consumos de energía en el sector de la edificación no residencial, sin tener en cuenta los usos ya comentados anteriormente, tanto por su baja importancia, como por ser consumos pertenecientes a las actividades industriales.

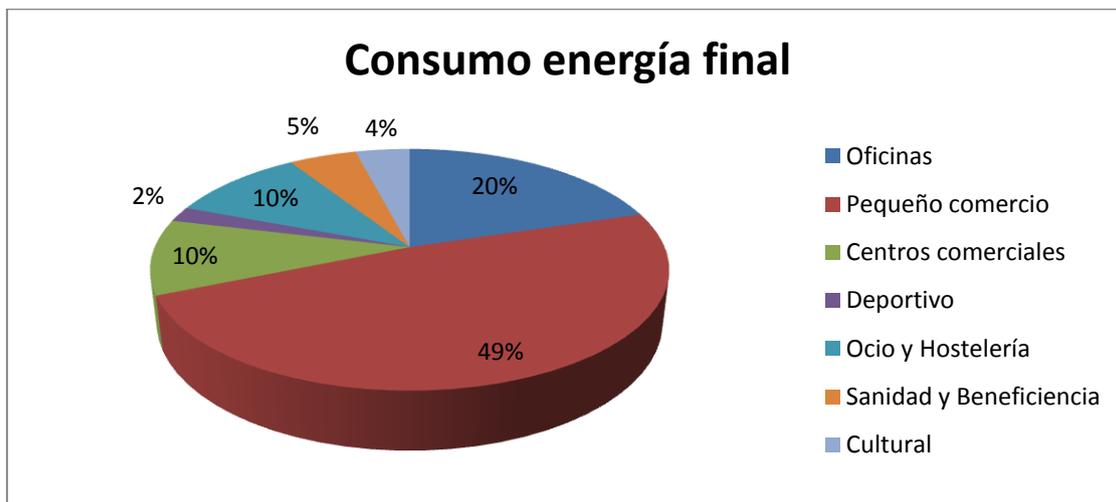


Figura 20: Consumo de energía final en el sector no residencial  
Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Fomento

Se puede observar que el sector comercial, y dentro de él, el pequeño comercio, supone el mayor consumo de energía final de los analizados en este apartado, en parte debido a que también es el sector que mayor número de edificios y mayor superficie ocupada tenía respecto al resto. Le siguen los edificios de oficinas y de ocio y hostelería.

En el caso propuesto en el presente trabajo, el edificio estudiado contiene locales con varios de estos usos. Los de mayor importancia serían ocio, hostelería, beneficencia y cultural.

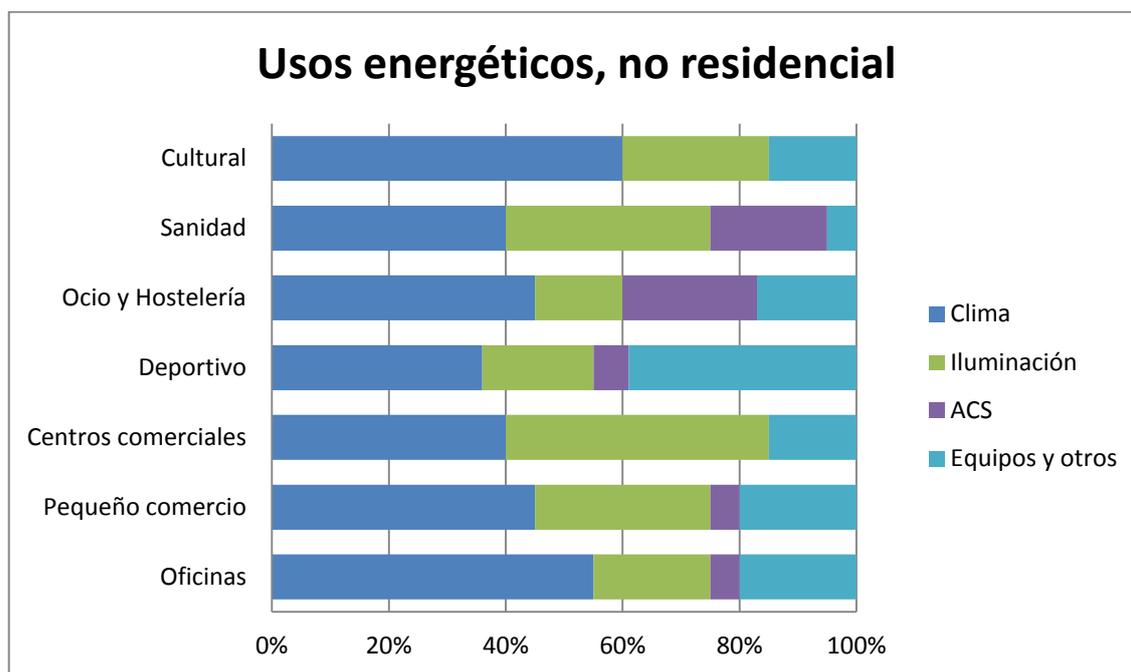
Teniendo en cuenta el objetivo del presente trabajo, centrado en la aplicación práctica de estudiar consumos energéticos, eficiencia energética y energías renovables en un edificio no residencial de usos variados, se busca concretar cuáles son los principales usos energéticos dentro de este sector. Para conseguir esta información más detallada y concreta de estos consumos, la Tabla 2 recoge nuevamente los sectores anteriores, pero dividiendo los consumos energéticos en sus principales usos: climatización, refrigeración, iluminación, ACS, equipos y otros:

Usos energéticos, no residencial	Distribución del consumo (%)				
	Clima	Refrigeración*	Iluminación	ACS	Equipos y otros
Oficinas	55	25	20	5	20
Pequeño comercio	45	20	30	5	20
Centros comerciales	40		45		15
Deportivo	36	10	19	6	39

Ocio y Hostelería	45		15	23	17
Sanidad	40		35	20	5
Cultural	60	5	25		15

**Tabla 2: Usos energéticos en el sector no residencial**  
Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Fomento

*\*Como podemos observar, la columna de refrigeración es un uso ya recogido en climatización, pero que se analiza de manera separada debida su importancia.*



**Figura 21: Usos energéticos en el sector no residencial**  
Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Fomento

Como cabía esperar, la climatización supone el mayor porcentaje de consumo energético en todos los usos analizados (Figura 21), seguido de iluminación y equipos. Por lo tanto, a la hora de realizar medidas de eficiencia energética y reducción de emisiones convendrá centrarnos en estos usos energéticos.

Resaltan dos diferencias claras en los principales usos energéticos entre edificios residenciales y no residenciales:

- La iluminación cobra mayor importancia en los no residenciales (sobre todo en comercios, hospitales y centros educativos).
- El gasto en ACS tiene una mayor importancia en los residenciales, mientras que en los no residenciales es en muchos casos despreciable (exceptuando centros deportivos y hospitales).

Por último, la Figura 22 muestra la procedencia de la energía que se consume en el sector servicios (principal representante de los edificios no residenciales). Se observa que el porcentaje de energía procedente de fuentes renovables térmicas (biomasa, geotérmica y solar térmica) es casi nulo, mientras que el consumo de electricidad es muy elevado, sobre todo en España.

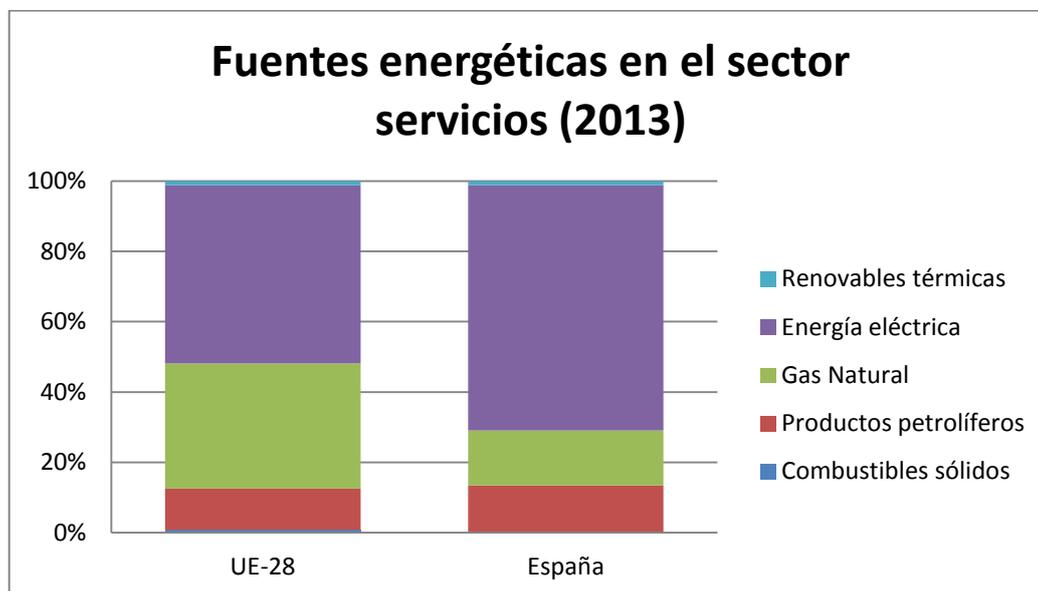


Figura 22: Fuentes energéticas en el sector servicios  
Fuente: Elaboración propia con datos EUROSTAT

Como ya se ha comentado, sin embargo, este consumo de energía eléctrica contiene parte de energía producida mediante renovables, los porcentajes exactos de energía renovable se pueden ver en los mixes eléctricos ya comentados anteriormente, para el caso europeo (Figura 8) y para el caso español (Figura 17).

### 3.3 Normativa Aplicable

La normativa vigente a nivel nacional respecto al sector de la edificación se basa en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Este conjunto de normativas aprobado en 2006 incluye todos los requisitos básicos de seguridad, exigencias en la construcción y condiciones de confort que deben cumplir los espacios.

Los edificios de consumo energético casi nulo deberán cumplir, por lo tanto, todas las exigencias que aparecen en el CTE actual. Sin embargo, estas exigencias no se detallarán en este trabajo, ya que son las mismas que debe cumplir cualquier otro edificio, por lo que el CTE no proporciona ninguna información adicional respecto al concepto NZEB.

En todo caso, se entiende que los NZEB tendrán exigencias a nivel de eficiencia energética mayores que las exigidas en el CTE actual, por tanto, este código no nos proporciona suficiente información para la implementación de este tipo de edificios. Sin embargo, previsiblemente, posteriores revisiones del Código Técnico sí incluyan estas exigencias para edificios de nueva construcción a partir del año 2020.

En relación con los aspectos energéticos del sector de la edificación y la implantación de medidas de eficiencia energética en este sector, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea aprobaron en 2010 la Directiva 2010/31/UE. Esta directiva es una respuesta a los problemas mencionados anteriormente: necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reducir la demanda de energía primaria, aumentar el uso de energías renovables, reducir el consumo de las energías convencionales, contaminantes y no renovables y disminuir el grado de dependencia energética del exterior y de inseguridad energética. Todo ello, enfocado al campo de la edificación, que como ya hemos visto, supone un 40% del consumo total de la UE.

En esta directiva, se proporciona un marco y unos objetivos en relación a los requisitos de eficiencia energética de los países miembros, la metodología a usar, la necesidad de planes nacionales que consigan estas mejoras y los sistemas de control, inspección y certificación recomendados.

Además, se proporciona información, aunque no demasiado concreta, sobre los Edificios de Consumo de energía Casi Nulo (NZEB). Este término aparece definido ya en el artículo 2 de la directiva, donde se indica que un edificio de consumo de energía casi nulo es un “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto. La cantidad casi nula de energía requerida debería estar cubierta, en gran parte, por energía procedente de fuentes renovables, ya sean in situ o en el entorno.”

Por otro lado, en el Artículo 9 de la directiva, se especifica de manera más concreta algunos datos y plazos a tener en cuenta en relación con los NZEB.

En primer lugar, todos los edificios de nueva construcción deben cumplir con el balance casi nulo al comenzar 2021, en el caso de edificios que sean propiedad de autoridades públicas la fecha para conseguir este balance casi nulo será el comienzo de 2019.

Para conseguirlo, los Estados miembros elaborarán planes nacionales con objetivos claros, políticas y medidas a tomar que permitan avanzar paulatinamente en el aumento de edificios de balance energético casi nulo, bien sea aumentando el porcentaje de edificios construidos que lo cumplan, como reformando los edificios ya existentes para lograr que lo cumplan.

Entre estos planes nacionales se deberá incluir la definición de los NZEB, unos objetivos intermedios que ayuden a mejorar la eficiencia de los edificios nuevos en los años previos al 2020 y una serie de medidas financieras o de otro tipo para promover los edificios de consumo energético casi nulo.

La Comisión evaluará los planes y podrá formular recomendaciones a los Estados miembros. Así mismo, la Comisión publicará informes cada tres años con los avances efectuados por diferentes Estados y, a partir de estos informes, podrá elaborar planes de acción y proponer medidas para aumentar el número de edificios de este tipo y fomentar el avance de su implantación en un determinado Estado.

Sin embargo, los Estados miembros pueden no conseguir los objetivos planteados para 2019 y 2021 en casos concretos, si el balance de costes y beneficios de la vida útil de determinados edificios es negativo.

## 4. DESCRIPCIÓN DE EDIFICIOS DE BALANCE CERO Y ESTRATEGIAS MÁS UTILIZADAS.

Una vez analizado el contexto energético en el que nos encontramos, los objetivos y retos generales a los que se enfrentan los países occidentales en materia energética y el caso concreto del sector de la edificación, se pasa a describir los Edificios de Consumo Energético Casi Nulo.

A grandes rasgos, los edificios de balance energético nulo o casi nulo son edificios de alta eficiencia, que cubren la mayor parte de su consumo con energía proveniente de fuentes renovables.

Es decir, son edificios que cuentan con una serie de medidas de eficiencia energética que les permiten reducir su consumo total de energía (de diversa procedencia y con diversos usos) a valores muy pequeños. Y que, además, cubren la mayor parte del consumo restante mediante fuentes de energía renovable, reduciendo así notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, y en general, el consumo de energía primaria.

La normativa existente en España aún no proporciona una definición exacta, sino que solo existen directivas y propuestas como la nombrada anteriormente (EPBD), que introducen los objetivos más importantes y los pasos u obligaciones a seguir para conseguir la consecución de estos objetivos. Sin embargo, al carecer de valores concretos, definiciones y metodología, definiremos el NZEB atendiendo a las normativas y metodología más usadas y más comunes dentro del contexto europeo.

Los diferentes puntos a desarrollar son:

- Tipo de balance usado
- Límites temporales y espaciales
- Tipos de usos de energía
- Renovables
- Valores numéricos

### 4.1 Tipo de Balance Usado

De las diferentes unidades que se pueden usar (energía primaria, final, emisión de CO<sub>2</sub>, exergía...) la más usada es la energía primaria en kWh/m<sup>2</sup>. De esta manera se tienen en cuenta diversos factores, como las pérdidas y rendimientos en centrales y líneas de electricidad. Al mismo tiempo, no complica en excesivo el análisis, ya que únicamente se necesita conocer los factores de paso de energía final consumida a energía primaria.

El balance usado, por tanto, será la comparación entre energía primaria consumida en el edificio y energía primaria procedente de fuentes renovables que se produzca en el edificio, ya sea para el autoconsumo del mismo como para verterlo a la red eléctrica.

## 4.2 Límites Temporales y Espaciales

En cuanto a los límites espaciales y temporales que tomamos para definir un edificio de consumo energético casi nulo, existen diferentes alternativas:

- En cuanto a límites espaciales, se puede considerar únicamente el edificio en sí. Sus consumos y su producción de energía. Otra alternativa es considerar espacios más amplios (conjuntos de edificios, barrios) que actúen de manera conjunta a la hora de realizar el balance energético, de manera que compensan las necesidades de unos edificios con la producción de otros. De esta manera, se homogeneiza los usos y particularidades de cada edificio y se consiguen demandas y producciones energéticas más uniformes. Además, facilita la consideración de fuentes de energía renovable instaladas en emplazamientos cercanos a estos edificios, de manera que no tienen que estar necesariamente sobre el edificio a estudiar. Sin embargo, lo más común suele ser limitarse al edificio objeto del estudio, principalmente por ser la opción más sencilla y práctica, en un contexto en el que la implantación de NZEB no está suficientemente normalizada y extendida.
- En cuanto a límites temporales, se suele considerar únicamente la vida útil del edificio, es decir, los años en los que el edificio está en funcionamiento y uso, y en él se está produciendo y consumiendo energía. Un estudio más completo, pero también más complejo, sería considerar los costes energéticos del edificio en su conjunto, es decir, incluyendo la energía empleada en su construcción, materiales usados y derribo. Estos gastos, a priori despreciables comparados con el consumo del edificio durante su vida útil, pueden cobrar importancia precisamente por la reducción de consumo energético que se busca en este tipo de edificios. De esta manera, al aumentar la eficiencia energética del edificio, se aumenta el peso de las etapas de construcción y derribo del mismo.

## 4.3 Tipos de Usos de Energía

A partir de los principales usos energéticos en edificios residenciales y no residenciales, se pueden considerar únicamente los más importantes para realizar el balance de energía.

La directiva europea Energy Performance Building Directive 2010 indica los usos mínimos que tienen que ser considerados para el balance de los NZEB en edificios no residenciales: calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y agua caliente sanitaria. Sin embargo, quedan fuera los electrodomésticos y el uso de dispositivos electrónicos, campo que se encuentra en notable aumento en la actualidad, por lo que puede ser conveniente su inclusión.

Por tanto, para un análisis más completo, siempre que se pueda y no complique en exceso el cálculo, se considerarán los consumos en climatización, ventilación, iluminación, ACS y dispositivos electrónicos.

## 4.4 Fuentes Renovables

Por lo general, las fuentes de energía renovable usadas para el balance del edificio deberán estar en el recinto objeto que se haya considerado. Puede ser el propio edificio, de manera que se podrían considerar la instalación de placas solares, calderas de biomasa, climatización geotérmica... o puede ampliarse el límite espacial permitiendo la inclusión de fuentes off-site, es decir, más allá de los límites físicos del edificio, como energía eólica, energía solar en solares cercanos, etc.

Un proyecto más complejo y extenso podría considerar espacios más amplios, como barrios, a la hora de realizar los balances, la implementación de medidas de eficiencia y la consideración de energías renovables. De esta manera, campos solares o eólicos en recintos dentro de los barrios o cercanos a ellos, podrían considerarse dentro del proyecto del NZEB.

## 4.5 Valores Numéricos

En la ya nombrada Directiva 2010/31/UE, sobre eficiencia energética en los edificios, se urge a los estados miembros a definir los Edificios de Consumo Casi Nulo y sus requerimientos de acuerdo a criterios económicos.

Para ello, un informe del Ministerio de Fomento [ ] analiza diferentes zonas climáticas y tipos de edificios y propone una serie de requerimientos energéticos para los mismos, atendiendo a criterios de coste óptimo.

De una serie de medidas de eficiencia posibles, las que aportan el coste óptimo serán aquellas que tengan una mejor relación beneficios-coste. Es decir, las medidas que permitan reducir los consumos energéticos pero, al mismo tiempo, sean rentables económicamente.

De acuerdo a este informe, se proponen los siguientes límites respecto a la demanda de climatización y el consumo de energía primaria para edificios existentes no residenciales (oficinas). Se ha escogido un valor medio entre las zonas C2 y B4 por ser las que más se aproximan al edificio estudiado de entre las analizadas en el informe):

- Demanda de calefacción y refrigeración: 69 kWh/m<sup>2</sup>/año
- Consumo de energía primaria: 83,55 kWh/m<sup>2</sup>/año

Por otra parte, en lo referente al aporte de fuentes de energía renovable, los requisitos propuestos en el presente trabajo se basan en las propuestas y normativas existentes en otros países de la Unión Europea, ya que en España tampoco hay legislación ni propuestas al respecto.

Por tanto, de acuerdo a los valores más repetidos a nivel europeo se propone el siguiente objetivo para el edificio objeto de este trabajo:

- Producción de energía renovable: 30% de la energía final consumida



## 5. APLICACIÓN A UN CASO REAL EN LA COMUNIDAD VALENCIANA.

El edificio objeto del estudio se encuentra en el pueblo de Benaguacil (Valencia), y fue construido en 2012. Debido a falta de fondos del gobierno regional, no fue posible su uso como centro de ancianos y se utiliza actualmente como centro social para el pueblo.

El edificio consta de una sola planta de, aproximadamente, 1160 m<sup>2</sup>. Entre el edificio y la valla que lo rodea, existe un pequeño jardín con árboles y plantas.

### 5.1 Uso y horario

Actualmente, el edificio está siendo usado por los servicios sociales del pueblo. Con el objetivo de simplificar la posterior simulación, se considerará un uso relativamente homogéneo de los locales, atendiendo a horarios aproximados del edificio como un conjunto.

El edificio permanece cerrado los días festivos, sábados y domingos, exceptuando ciertos usos esporádicos en algunos de los locales, principalmente los sábados por la tarde.

Los días laborables el horario aproximado de uso es el siguiente:

- Horario de mañana: de 8:00 a 15:00 abren y se usan la mayor parte de los locales. El edificio tiene en conjunto una actividad media respecto a ocupación y consumo.
- Horario de tarde: de 15:00 a 20:00 solamente algunos locales abren. La actividad del edificio baja ligeramente debido al descenso en ocupación y cargas térmicas internas y el correspondiente descenso del consumo en climatización, iluminación y equipos.

### 5.2 Cubierta

El tipo de cubierta existente es la denominada cubierta invertida, caracterizada porque el aislamiento se encuentra por encima de la lámina impermeabilizante, al contrario que en una cubierta tradicional. De este modo se protege la membrana impermeabilizante, capa más delicada de la cubierta, de las dilataciones térmicas, evitando así las posibilidades de que se produzca una rotura.

Además, la cubierta presenta huecos (claraboyas y patios interiores), que se analizarán de manera más detallada posteriormente, que permiten la entrada de luz natural al interior del edificio y son importantes a la hora del cálculo de cargas térmicas del edificio.

El esquema de la cubierta sería, por tanto, el mostrado en la Figura 23:

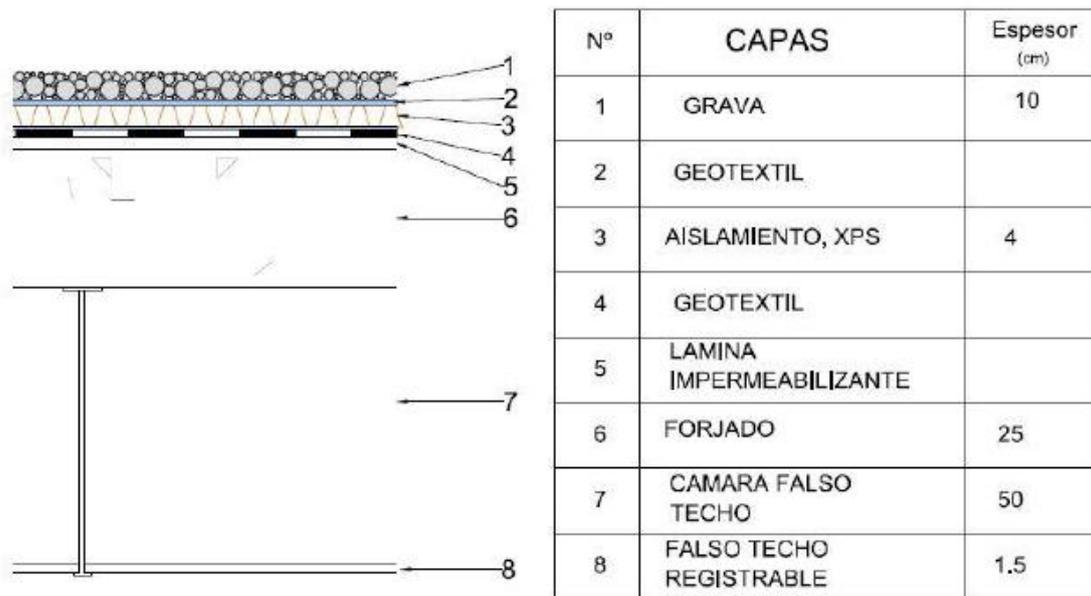


Figura 23: Capas y espesores de la cubierta invertida.

La capa exterior es la grava (Figura 24), que en momentos de temperaturas exteriores muy elevadas, alcanza temperaturas próximas a los 50 grados centígrados.



Figura 24: Cubierta de grava

### 5.3 Envoltente

La información correspondiente a la composición arquitectónica de la envoltente del edificio es mucho menor que la correspondiente a la cubierta anteriormente analizada. Sin embargo, a partir de visitas (Figura 25), estimaciones e información recopilada de diversas fuentes, se considera la siguiente composición:

- Muros exteriores: doble pared de ladrillo hueco (3 huecos exterior y 2 huecos interior) con aislamiento XPS de 40 milímetros en medio, lucido de cemento exterior e interior pintado.
- Paredes interiores: lucido de cemento exterior e interior pintado, ladrillo hueco de 8x18 cm.
- Superficie acristalada: 65% del total de la envolvente. Las ventanas son de doble cristal y los marcos metálicos.
- Forjado con el terreno: azulejo cerámico, hormigón en masa y tierra vegetal.
- Cornisas: enlucido de yeso, doble pared de ladrillo hueco sencillo y aislante xps.



Figura 25: Composición de las paredes internas

## 5.4 Sistema de Drenaje y Riego

El sistema de recogida del agua de la lluvia es un sistema de alcantarillado dividido en sectores. El techo está dividido en nueve áreas inclinadas hacia su punto central, donde se recoge el agua en sumideros.

En la Figura 26 se puede observar esta sectorización de la cubierta en nueve áreas con sus respectivos puntos centrales de recogida. En la Figura 27 se muestra uno de estos sumideros.

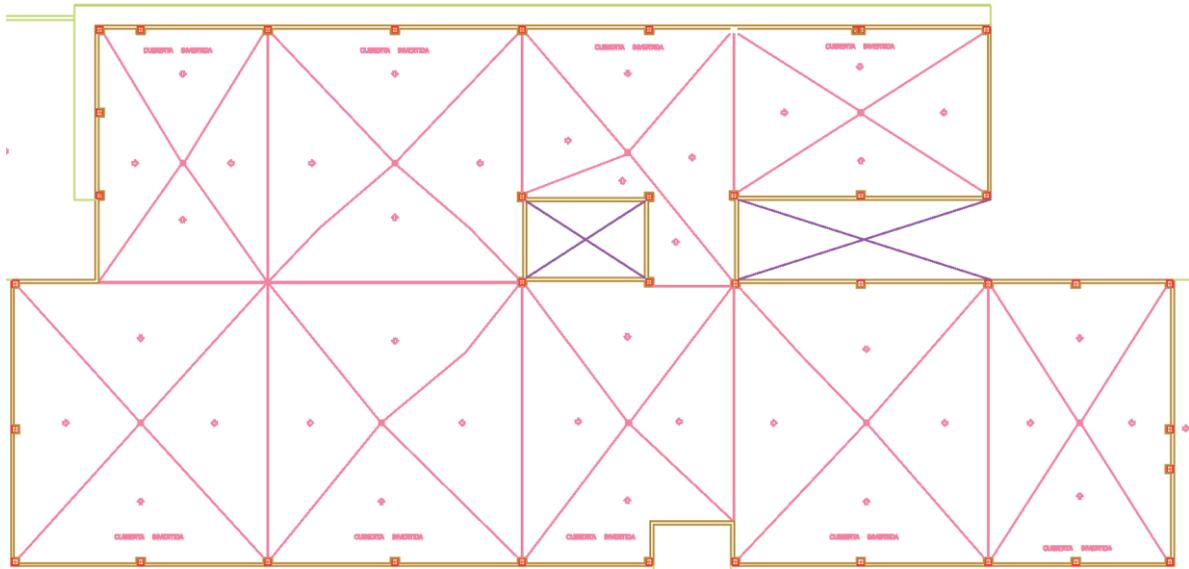


Figura 26: Sistema de drenaje del edificio.



Figura 27: Sumidero en la cubierta

Además, el agua recogida de esta manera es acumulada en un depósito de 5000 litros de capacidad situado en la parte Sur del recinto (Figura 28). Esta agua se utiliza para regar las plantas y árboles del recinto y de la cubierta mediante un sistema de bombeo impulsado mediante una placa fotovoltaica situada en la cubierta del mismo edificio (Figura 29).



Figura 28: Depósito de agua de riego



Figura 29: Placa solar del sistema de riego

## 5.5 Sistema de Climatización

Respecto al sistema de climatización, el edificio está dividido en 4 áreas acondicionadas (Figura 31). No todas las habitaciones del edificio tienen unidades de salida de aire acondicionado, por tanto, sino solo las que se encuentran dentro de estas cuatro zonas. En general, no están climatizadas las zonas comunes y de uso esporádico del edificio, como son aseos, vestuarios, entrador y pasillos.

Se trata de un sistema de climatización por conductos, con difusores de aire en los locales que se encuentran en estas 4 zonas anteriormente comentadas. Consta, además, de 4 unidades dobles externas en la cubierta, como se muestra en la Figura 30 (tres de ellas PUHZ P250YHA y una unidad PUHZ P200YHA) y 4 unidades internas dentro del edificio (tres de ellas PEA-RP500GA y una PEA-RP400GA).

El anexo 1 contiene las características técnicas de estos modelos.

El anexo 4 contiene un plano ampliado de las zonas climatizadas y las unidades de climatización.



Figura 30: Unidades exteriores de climatización



Figura 31: Zonas climatizadas, unidades exteriores e interiores.

## 5.6 Iluminación, Equipos y ACS

Debido a la gran cantidad de ventanas y claraboyas, el edificio cuenta con un alto porcentaje de superficie acristalada en la mayor parte de sus locales, por lo que recibe gran cantidad de iluminación natural que permite reducir el consumo de energía necesaria para mantener condiciones de luminosidad interior aceptables. La foto de la Figura 32 fue tomada a las 10 de la mañana, como se puede observar, la luz natural permite tener toda la iluminación del pasillo apagada.



Figura 32: Efecto de la luz natural

En el edificio hay dos tipos de bombillas distintas, mostrados en la Figura 33:

- Bombillas incandescentes de 100W de potencia, se encuentran en los aseos y algunas habitaciones. De acuerdo a valores estándar se considera una eficacia luminosa de 14 lm/W.
- Tubos fluorescentes de 60 centímetros de largo y 18W de potencia, agrupados en módulos de 4 tubos. Se encuentran, principalmente en los pasillos y alguna habitación. Se estima una eficacia luminosa aproximada de 55 lm/W.



Figura 33: Ejemplo iluminación de los locales

Tanto las zonas iluminadas mediante bombillas incandescentes, como las iluminadas con tubos fluorescentes, tienen una baja relación de módulos por superficie, aproximadamente de un foco o módulo cada 4 metros cuadrados, ya que en la mayor parte de los locales, como ya se ha comentado, existe un gran aprovechamiento de la luz solar.

Respecto a equipos electrónicos, a pesar de no haber una gran cantidad de aparatos que supongan un consumo energético alto, destaca el equipo perteneciente a los locales de secretaría, oficinas y recepción, como los mostrados en la Tabla 3 y la Figura 34:

Equipo y potencias	Potencia (W)	Unidades	Potencia (kW)
Ordenador	80	6	0,48
Fotocopiadora	900	1	0,9
Impresora	20	2	0,04
Microondas	1000	1	1
Fax	825	1	0,825
Máquina de café	700	1	0,7
Trituradora de papel	390	1	0,39
Otros	5	20	0,1

Tabla 3: Equipos y dispositivos del edificio, potencias.



Figura 34: Equipos de oficina

El edificio cuenta con una habitación preparada para contener calderas de agua caliente sanitaria y con depósitos de ACS en los aseos para acumularla (Figura 35). Sin embargo, actualmente no existe caldera de ACS ni demanda de agua caliente sanitaria, por lo que este apartado se obviará a la hora de calcular demandas y consumos eléctricos del edificio.



Figura 35: Acumulador de agua caliente

## 5.7 Especificaciones Para la Simulación Térmica

De acuerdo a los planos del edificio y las visitas realizadas, se han podido observar y catalogar, las siguientes características específicas del edificio objeto de estudio:

- Patio (Figura 36): existe un patio en el interior del edificio, abierto al exterior y con ventanas en tres de sus paredes, de manera que permite la entrada de luz natural al pasillo y al entrador, además de las implicaciones térmicas que ello conlleva (mayor flujo térmico a través de huecos y ventanas que a través de muros).



Figura 36: Patio interior

- Sombra árboles (Figura 37): la fachada Sur tiene árboles muy próximos al edificio, de manera que pueden proporcionar sombra a esta fachada durante la mayor parte del día. La altura de estos árboles es de, aproximadamente, un metro más que la del edificio, y se encuentran a una distancia de un metro de la fachada.

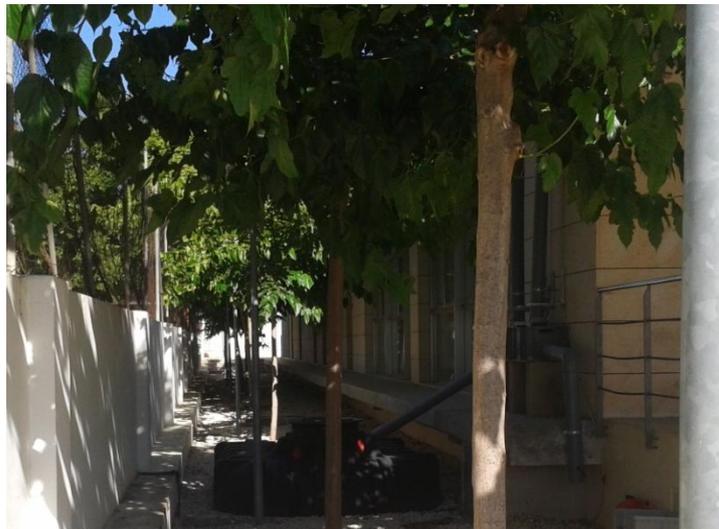


Figura 37: Árboles de la fachada Sur del edificio

- Sombra edificios: las fachadas Norte y Oeste tienen edificios, aproximadamente, a una calle de distancia, lo cual podría suponer sombras a ciertas horas del día. La altura de los mismos se estima en unos siete metros.
- Cornisa (Figura 38): Las fachas Norte, Este y Oeste tienen una cornisa que sobresale un metro de la envolvente, proporcionando sombra en la fachada a ciertas horas del día.
- Entradas (Figura 38): las dos entradas principales (Norte y Sur-Este) cuentan con un porche de 2,8 metros de altura, cuya geometría se encuentra definida en los planos del edificio.



Figura 38: Cornisas

- Claraboyas (Figura 39): tanto una parte del entrador como los aseos, cuentan con claraboyas que comunican con el exterior y permiten el paso de luz natural, lo cual produce cierto ahorro en la iluminación de estos locales.



Figura 39: Claraboyas



## **6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA, CAMPAÑA DE MEDIDAS Y METODOLOGÍA DE PRUEBAS. ANÁLISIS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES.**

Los valores aportados por el programa CalenerVYP nos permiten conocer las demandas y consumos del edificio de manera anual, pero no aportan información mensual ni horaria sobre los mismos. Para estimar las curvas mensuales y diarias de consumo y potencia del edificio de Benaguacil, nos basaremos en datos y medidas experimentales.

### **6.1 Instrumentación Utilizada**

La instrumentación usada en la toma de medidas y la recogida de resultados durante la campaña de medidas ha sido la siguiente:

#### **6.1.1 Medidas del edificio para su calificación energética**

Medidor de distancias:

- Distancias entre 0,6 y 15 metros.
- Mediciones métricas e imperiales.
- Precisión de 0,01 m/m (1 cm).
- Apagado automático.
- Tensión de 9 voltios.
- Dimensiones (mm) 10x20x20.
- Peso 160 gramos.

Anemómetro:

- De 0 a 5 m/s para temperaturas de -20 a 0°C.
- De 0 a 10 m/s para temperaturas de 0 a 50°C.
- Resolución de 0,01 m/s y 0,1°C.
- Error en la medida de 0,1 m/s hasta 2 m/s.
- Batería con 20 horas de autonomía.
- Longitud de 5,9 a 11,8 cm.
- Diámetro de 0,5 cm.

#### **6.1.2 Medición de consumos del sistema de climatización**

Transmisor programable:

- Aplicaciones domésticas, pequeñas industrias o sector servicios.

- Medición consumos monofásicos 240V y trifásicos 400V.
- Compatible con sensores Mini Pinza 80 Amperios y Plus 100 Amperios.
- Compatible con monitores TREC, ENVI y EnviR.
- Intensidad máxima de lectura 19 kW (240V) y 70 kW (400V).
- Programación de tensión de entrada 200-260V.
- Comunicación 433MHz SRD banda.
- 7 años de duración de baterías.
- Dimensiones 130x95x50 (mm).

Sensor Pinza Mini 12mm / Plus 25mm:

- Instalaciones monofásicas (230V) y trifásicas (400V).
- Uso con transmisor programable.
- Conector tipo 'Jack'.
- Admite cables de 12 mm ó 25 mm de diámetro exterior.
- Intensidad máxima 80 y 100 amperios respectivamente.
- Dimensiones (mm) Pinza Mini 60x55x27 o Pinta Plus 80x80x27.

Monitor:

- 10 canales.
- Comunicación con transmisores programables.

Termopares:

- Longitud de cable de 8 metros.
- Termopar tipo T.
- Temperaturas de -200 a 350°C.

Almacén de datos

- Registro datos de temperaturas.
- Conexión con termopares.

## 6.2 Campaña de Medidas

La mayor parte de los datos y la información utilizada para la estimación de los consumos del edificio, las curvas de potencia del mismo y los diferentes sistemas que lo forman, fue medida o recogida durante los años 2013, 2014 y 2015.

### 6.2.1 Sistema de climatización

Como ya se ha comentado en la descripción del edificio, el sistema de climatización del edificio de Benaguacil es un sistema por conductos, como se ha podido comprobar en las visitas al edificio. En estas visitas, además de la comprobación y la toma de fotografías correspondiente de los

componentes del sistema (Figura 30) se realizó la medida de la potencia aparente consumida por el sistema de impulsión de aire.

La medición de esta potencia se realiza mediante pinzas amperimétricas en las tres fases correspondientes, un transmisor programable y un monitor que muestra los resultados. Como aparece reflejado en la Figura 40, el consumo de potencia aparente era de 2,83 kW.



Figura 40: Consumo registrado de la unidad interior de climatización

A partir de esta medida de la potencia aparente consumida, se deduce que el modelo de las unidades interiores es el PEA-RP500GA (al que corresponde un consumo de 2,84 kW, según la tabla de características).

Por tanto, a las tres unidades exteriores dobles PUIZ-P250YHA les corresponden tres unidades interiores PEA-RP500GA, mientras que a la unidad exterior doble PUIZ-P200YHA le corresponde una unidad interior PEA-RP400GA.

### 6.2.2 Facturas eléctricas

Las facturas del consumo eléctrico del edificio de Benaguacil que se han recogido y analizado, pertenecen, en su mayoría, al año 2014. En concreto, cubren desde el 10 de Diciembre de 2013 hasta el 5 de Diciembre de 2014.

Las facturas, de la compañía Iberdrola, recogen el consumo eléctrico del edificio, la potencia contratada, la potencia facturada y los costes económicos de ambas cosas, además de otra mucha información que no será de interés para el presente trabajo. Cada factura abarca, aproximadamente, un periodo de 30 días, aunque no coinciden con el comienzo de los meses del año.

Debido a que el tipo de tarifa es 3.0A, los consumos eléctricos se dividen en 3 periodos diarios según la hora a la que se produce el consumo: valle, llano y punta. Además, las facturas también distinguen aquellos consumos que se han producido durante días festivos y vacaciones, de los que se han producido durante días laborables, por lo que resultan 6 periodos distintos, como aparece en la Figura 41.

Período horario	Desde	Lectura	Hasta	Lectura	Consumo/Potencia
Energía activa P1	08/04/2014	00001987	13/05/2014	00002263	276 kWh
Energía activa P2	08/04/2014	00013479	13/05/2014	00014552	1.073 kWh
Energía activa P3	08/04/2014	00001396	13/05/2014	00001639	243 kWh
Energía activa P4	08/04/2014	00000368	13/05/2014	00000416	48 kWh
Energía activa P5	08/04/2014	00000931	13/05/2014	00001102	171 kWh
Energía activa P6	08/04/2014	00000623	13/05/2014	00000727	104 kWh

Figura 41: Ejemplo factura eléctrica

En resumen, cada factura aporta información sobre electricidad consumida, potencia contratada, potencia facturada y costes económicos durante periodos, aproximadamente, mensuales, y distinguiendo 6 periodos distintos de facturación de la electricidad.

### 6.2.3 Datos climatización

Los valores correspondientes al consumo de la climatización abarcan desde el 22 de Junio de 2013 hasta el 9 de Enero de 2015, a pesar de que la mayor parte de mediciones se concentran durante los periodos de invierno y verano de esos años.

Los consumos registrados son bi-horarios y corresponden al consumo eléctrico de los equipos de climatización de, aproximadamente, un cuarto del edificio (Figura 42).



Figura 42: Área del estudio del greenroof

El objetivo de estas mediciones es conocer el comportamiento térmico del edificio a partir de los consumos en calefacción y refrigeración. Para esto, durante los periodos de medición, se encendía la climatización de esa zona del edificio a una temperatura más o menos fija (24°C), durante el horario de uso habitual del edificio. De esta manera, se registra los consumos energéticos necesarios para climatizar estos locales a lo largo del día.

Además, la instalación de la cubierta vegetal o *greenroof* sobre esta zona del edificio (Figura 42), permite registrar datos sobre el comportamiento del mismo antes y después de esta reforma. Es decir, comparar el comportamiento térmico y los consumo eléctricos del sistema de climatización antes y después de instalar la cubierta vegetal, durante diferentes épocas del año (diferentes condiciones externas).

Esto permitirá analizar las consecuencias energéticas de instalar este tipo de cubierta y su papel como medida de eficiencia energética.

Como ya se especificará con mayor detalle en el análisis de estos datos, durante las horas fuera del horario de uso del edificio o durante los días en los que no se encendía el sistema de climatización, el consumo registrado es de, aproximadamente, 0,52 kWh, que corresponde al consumo residual de uno de los equipos internos.

### 6.3 Metodología

La metodología a seguir será la siguiente:

1. Simulación del edificio mediante el programa CalenerVYP. Obtención de las demandas térmicas y los consumos en climatización e iluminación.
2. Estudio de las principales consumos del edificio (refrigeración, calefacción, iluminación y equipos). Análisis horario de cada uno de estos usos.
3. Obtención de las curvas diarias de potencia del edificio para cada uno de los meses.
4. Análisis de las facturas eléctricas. Estimación de los consumos residuales y stand-by.
5. Propuesta de medidas de eficiencia energética y estimación de sus correspondientes ahorros en el consumo y la demanda energética.
6. Propuesta de fuentes de energía renovable con el objetivo de cubrir el porcentaje propuesto y cumplir todos los requerimientos de los Edificios de Consumo Casi Nulo.

### 6.4 Análisis de los Datos Experimentales

De acuerdo a la metodología planteada, se procede a calcular y estimar los consumos del edificio, sus demandas y las curvas de potencia diaria que forman estos consumos.

En primer lugar se simulará el edificio mediante el programa CalenerVYP que permite obtener los valores totales (anuales). Posteriormente, se deberá estimar y calcular el reparto mensual y horario de estos valores.

### 6.4.1 Simulación Calener

El programa de simulación CalenerVYP, nos permite obtener las cargas térmicas y los consumos anuales aproximados de nuestro edificio (refrigeración, calefacción, iluminación y ACS).

A partir de los planos de la planta del edificio, utilizamos AutoCAD para delimitar las diferentes zonas en las que queremos dividirlo (Figura 43). En este caso se ha dividido el edificio atendiendo a la orientación de las habitaciones y a la pertenencia a cada una de las cuatro zonas climatizadas en las que se divide. Las paredes que delimitan las zonas se introducen en la capa llamada LIDER, mientras que las ventanas y puertas se dibujan, siguiendo los planos, en capas V\_LIDER con las siguientes características:

- Ventanas: V\_LIDER[3][0.2], especificando así que se encuentran a 0,2 metros del suelo y tienen una altura de 3 metros.
- Puertas: V\_LIDER[3.1][0], ya que están a nivel de suelo y con una altura aproximada de 3,1 metros.

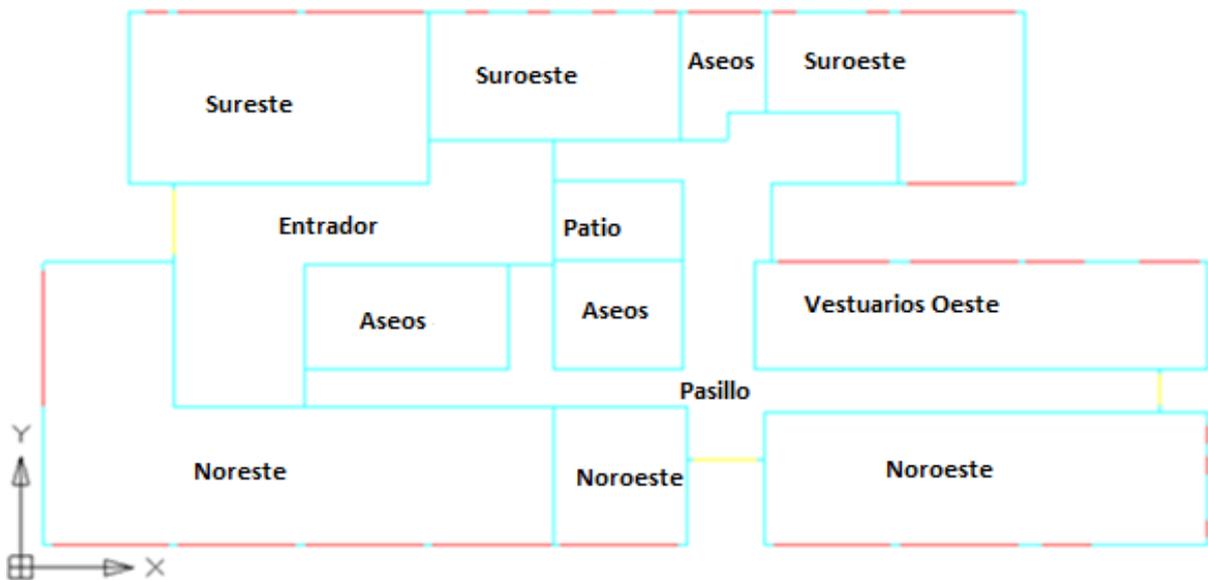


Figura 43: Edificio AutoCAD

Posteriormente, mediante la herramienta Genera3D, se genera una representación 3D del edificio (Figura 44), que permite ver que las diferentes zonas, muros, ventanas y puertas han sido implementados de forma correcta. Al mismo tiempo el programa Genera3D permite generar un archivo .cte que se puede abrir posteriormente con el programa Calener. El archivo .cte consta de una plantilla de CALENER y el edificio definido a partir del AutoCAD, en este caso dividido en 13 zonas, con una altura de 3,3 metros.

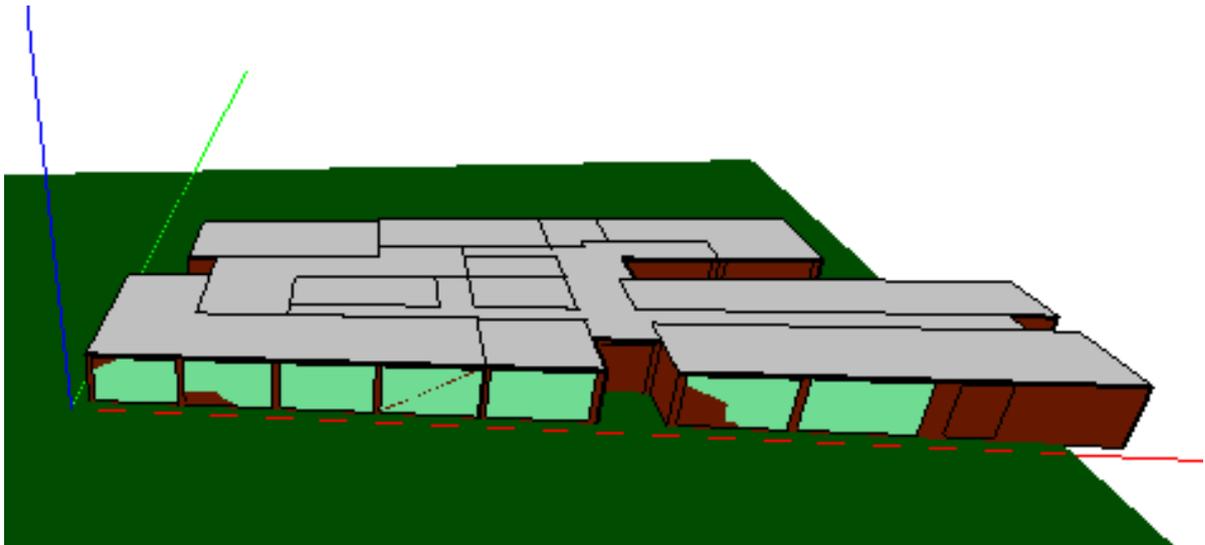


Figura 44: Simulación 3D del edificio

A continuación, podemos abrir este archivo .cte con la herramienta CalenerVYP, con la que podremos modificar una gran cantidad de parámetros relativos al edificio: su orientación, la zona climática donde se encuentra, el tipo de uso que tiene, la composición de cerramientos y huecos y los sistemas de climatización que usa.

En primer lugar, se debe modificar la descripción del edificio. En este caso, la zona climática es B3 y la localidad Valencia. El ángulo es 180°, de manera que la fachada de la puerta principal quede al Norte. El tipo de edificio correspondiente es edificio de sector terciario mediano, con una intensidad media de 12 horas, a la que corresponde las siguientes curvas de ocupación diaria para ocupación sensible (Figura 45) y para ocupación latente (Figura 46) [8].

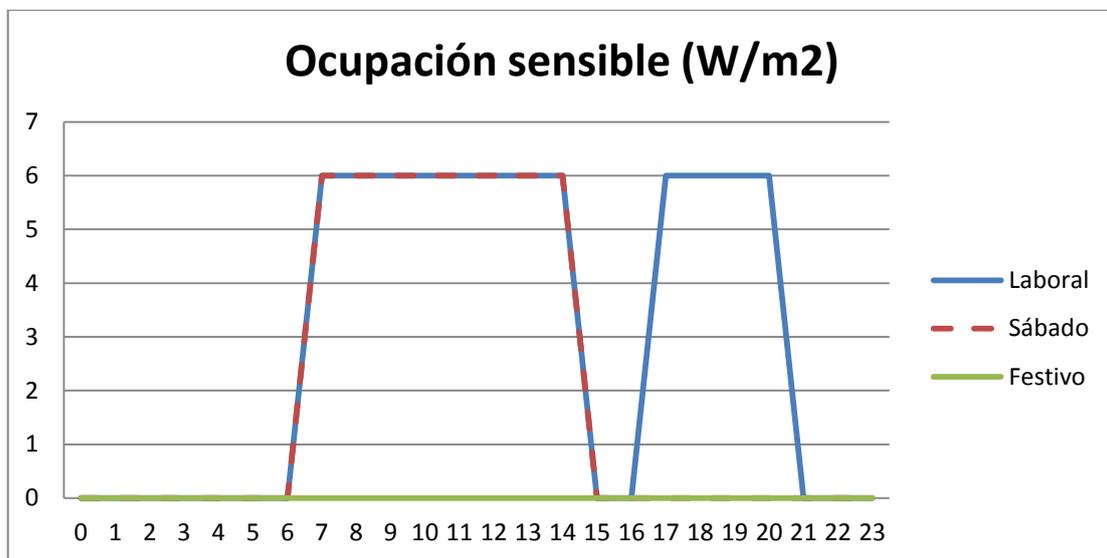


Figura 45: Ocupación sensible, intensidad media 12 horas (W/m2)

Fuente: Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexo III.

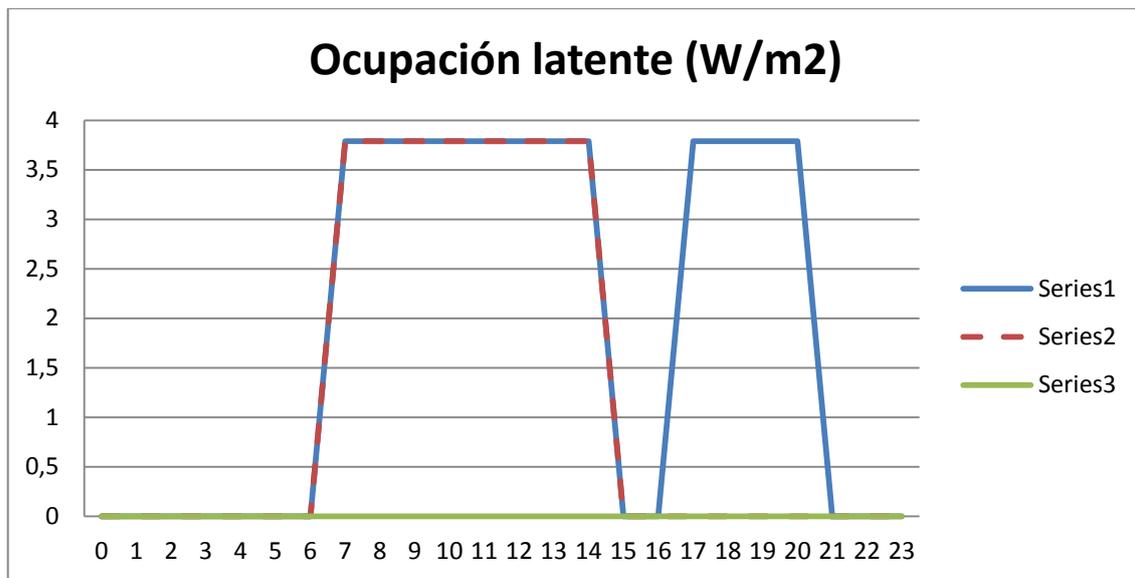


Figura 46: Ocupación latente, intensidad media 12 horas (W/m²)

Fuente: Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexo III

A pesar de no ajustarse de manera exacta con la ocupación y los horarios reales, es la opción más próxima de las posibles, ya que contempla la baja actividad de la mayor parte de los locales, el horario de mañana y de tarde, la menor ocupación los sábados y la nula ocupación los días festivos.

A continuación, se procede a definir la geometría y envolvente del edificio objeto de manera más detallada y aproximada a la realidad. En el caso concreto de este trabajo se han realizado las siguientes modificaciones, ya detalladas en el apartado de Definición del edificio-particularidades:

- Patio: se ha eliminado el espacio correspondiente, de manera que los muros de los locales adyacentes comuniquen con el exterior. Por tanto, se ha cambiado el tipo de estos cerramientos a “muro exterior”. Además se ha acristalado la práctica totalidad de los cerramientos que comunican con el patio interior, ajustándose así a la realidad.
- Sombras árboles: se ha implementado una sombra a un metro de distancia del edificio y con una altura de 4,3 metros para simular los árboles existentes en la fachada Sur.
- Sombras edificios: se ha procedido a dibujar las correspondientes sombras en las fachadas Norte y Oeste del edificio, en caso de que pudieran afectar a la radiación solar recibida. Las distancias y alturas se ajustan a las medidas estimadas y tomadas en las visitas a la zona y ya especificadas en el apartado de descripción del edificio.
- Cornisa: se han implementado cerramientos particulares que simulen las cornisas y salientes especificados en la descripción del edificio, de manera que se ajusten a las características observadas en las visitas y en los planos.
- Claraboyas: en los aseos y la parte del entrador se han construido ventanas en la cubierta, de acuerdo a los planos y a las medidas tomadas en las visitas.

El resultado es el mostrado en la Figura 47:

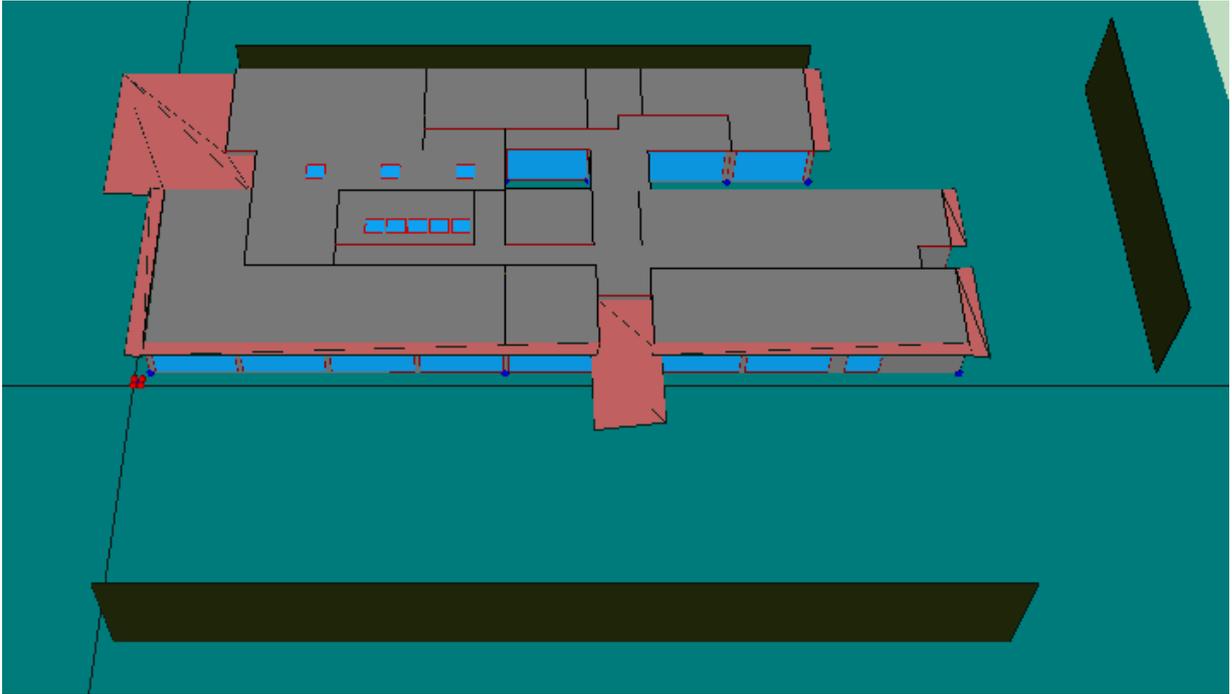


Figura 47: Simulación Calener del edificio

Posteriormente, se define la composición de la envolvente del edificio (muros, paredes, cubierta, ventanas, puertas...) de acuerdo a la composición ya mencionada en el apartado de descripción del edificio, envolvente.

Y, a continuación, debido a la gran cantidad de iluminación natural que recibe el interior del edificio y, de acuerdo a lo observado en las visitas, se ha reducido la iluminación de los locales hasta ajustarla a valores más próximos a los reales. Se considera un valor de potencia instalada media de 5 W/m<sup>2</sup> y una eficacia media de 35 lm/W, de acuerdo al reparto aproximado entre lámparas incandescentes y tubos fluorescentes.

Y, por último, se implementa el sistema de climatización del edificio (Figura 48), de acuerdo a lo mencionado en el correspondiente apartado de descripción del edificio. Este sistema consta, por tanto, de lo siguiente:

- Cuatro zonas climatizadas independientes: noroeste, noreste, suroeste y sureste.
- Cuatro unidades exteriores (dobles). Cada una de estos equipos exteriores suministrará calor o frío a una de las zonas climatizadas.
- Una unidad interior por cada zona acondicionada. Estas unidades interiores son las encargadas de suministrar el caudal de aire correspondiente que climatice los locales.
- Los valores numéricos de capacidad y consumo son los correspondientes a las fichas técnicas de los equipos.
- Los valores de caudales de impulsión son los correspondientes a lo especificado en el RITE (Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios).

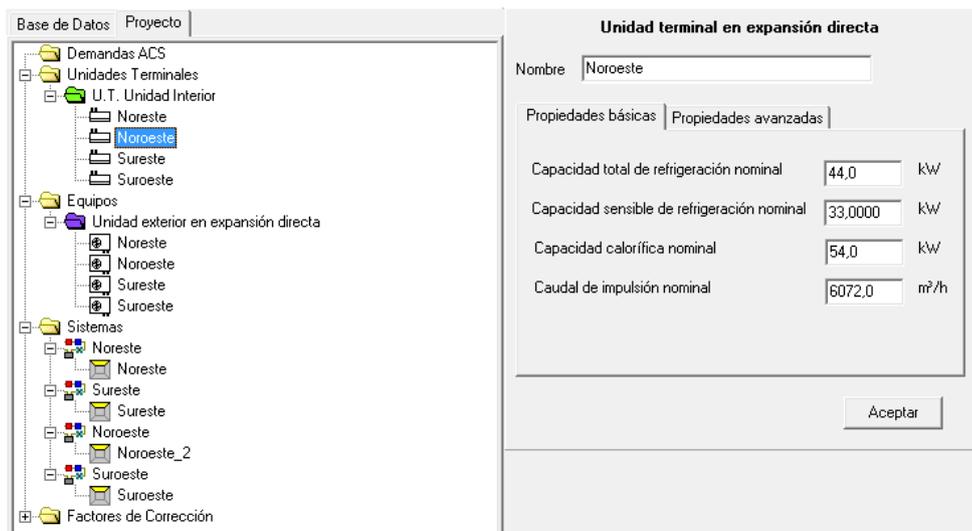


Figura 48: Sistemas de climatización Calener

Los resultados obtenidos mediante la simulación son los mostrados en la Figura 49 y la Figura 50:

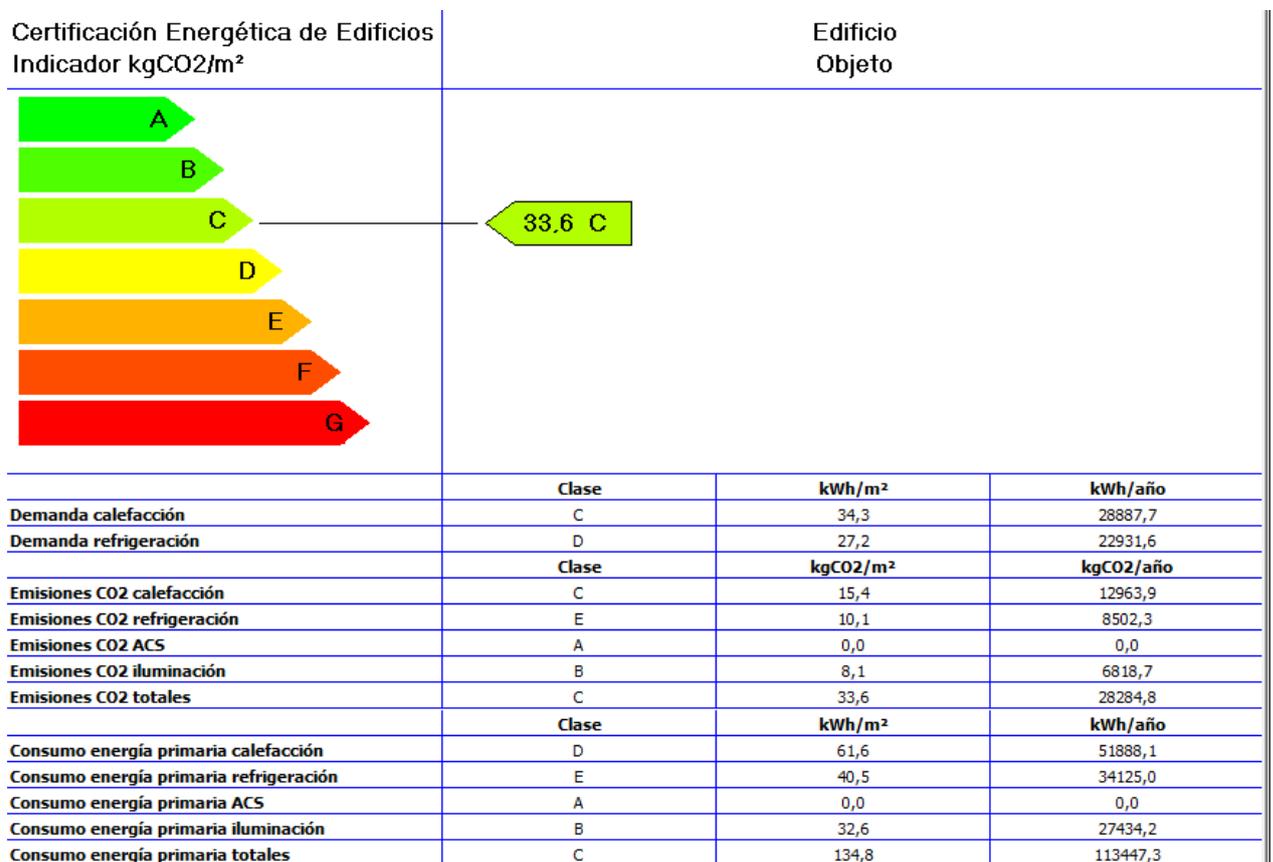


Figura 49: Resultados Calener certificación energética

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
* Demandas	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Calefacción	34,3	28887,7	47,6	40056,4
Refrigeración	27,2	22931,6	25,4	21347,0

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Consumos Energía Final	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Calefacción	23,7	19934,0	54,0	45425,8
Refrigeración	15,6	13109,9	11,2	9448,4
ACS	0,0	0,0	0,0	0,0
Iluminación	12,5	10539,5	25,6	21538,4
Total	51,8	43583,3	90,8	76412,6

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Consumos Energía Primaria	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/año
Calefacción	61,6	51888,1	58,3	49105,3
Refrigeración	40,5	34125,0	29,2	24594,1
ACS	0,0	0,0	0,0	0,0
Iluminación	32,6	27434,2	66,6	56064,4
Total	134,8	113447,3	154,2	129763,8

	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
Emisiones	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kgCO <sub>2</sub> /año	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	kgCO <sub>2</sub> /año
Calefacción	15,4	12963,9	15,5	13037,2
Refrigeración	10,1	8502,3	7,3	6132,0
ACS	0,0	0,0	0,0	0,0
Iluminación	8,1	6840,1	16,6	13978,4
Total	33,6	28306,3	39,4	33147,6

\* Estas demandas son de energía sensible y no incluyen las debidas a la ventilación en los sistemas

Figura 50: Resultados Calener completos

Las demandas de calefacción y refrigeración son las necesarias para mantener condiciones de confort en el interior del edificio, teniendo en cuenta la geometría, localización y características constructivas del edificio.

La energía final es la necesaria para cubrir estas demandas de calefacción y refrigeración calculadas por el programa mediante el sistema de climatización implementado. Es decir, el consumo que suponen las bombas de calor exteriores y las unidades interiores de impulsión de aire a la hora de cubrir las demandas de refrigeración y calefacción. Además, también se calculan

valores aproximados de consumo en iluminación de acuerdo al uso del edificio y los metros cuadrados de superficie que ocupa.

Esta energía final consumida permite el cálculo, mediante factores de paso, de energía primaria (multiplicado por 2,6) y emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> (partido por 1,55).

Por tanto, de acuerdo a estos consumos del edificio y a los objetivos planteados según la definición de Edificio de Consumo Casi Nulo tomada, deberemos conseguir las reducciones de demandas y consumos mostrados en la Tabla 4 (valores en kWh/m<sup>2</sup> · año).

	Edificio actual	Objetivo NZEB	Reducción	Reducción (%)
Demanda calefacción	34,3	69	0	<b>0%</b>
Demanda refrigeración	27,3			
Consumo energía primaria	134,8	83,55	51,25	<b>38%</b>

**Tabla 4: Comparación resultados Calener y objetivos NZEB**

Se puede observar que la demanda de climatización del edificio es bastante reducida actualmente, debido a las características de la envolvente y el clima suave en el que se encuentra.

Sin embargo, en el consumo total de energía primaria, donde sí intervienen los equipos de climatización y de iluminación, se deberán proponer mayores medidas de eficiencia que permitan cumplir los requisitos propuestos.

#### **6.4.2 Equipos e iluminación**

A continuación, se procede a obtener el ya comentado reparto horario y mensual de los valores anuales obtenidos anteriormente. Para ello se utiliza información obtenida en las visitas al edificio, así como estimaciones e información obtenida a través de diversos usuarios del edificio.

En primer lugar, se estiman horarios de uso para los equipos y la iluminación del edificio (Figura 51). Estos horarios son aproximaciones basadas en el horario de uso del edificio, el tipo de uso que suelen tener sus locales y las condiciones de luz exterior.

Para ello se ha considerado el edificio en su conjunto, sin atender a los diferentes locales y sus usos específicos.

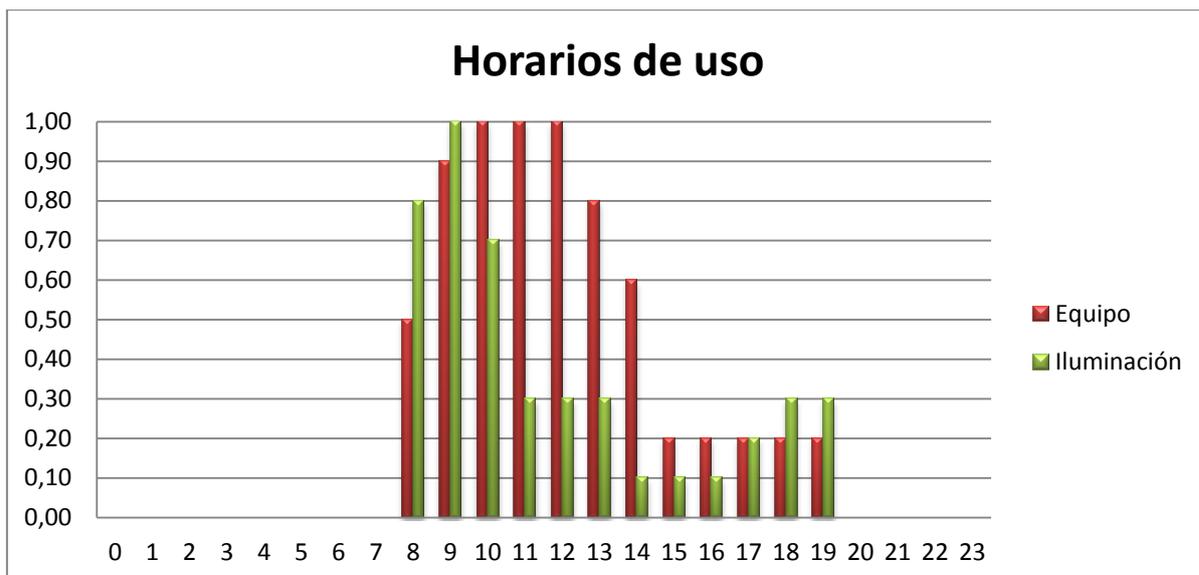


Figura 51: Horarios de uso del edificio (equipos e iluminación)

Las potencias correspondientes a iluminación y equipo se obtienen de la siguiente manera:

- De acuerdo al programa CalenerVYP, el consumo del edificio en iluminación es de 15134 kWh/año, es decir, 61 kWh/día (contando únicamente los días laborables del año). Si repartimos esta energía consumida entre las 12 horas del día de acuerdo a los factores horarios estimados anteriormente, obtenemos la curva diaria de la potencia en iluminación.
- A partir de visitas al edificio y estimaciones, conocemos los diferentes equipos electrónicos y eléctricos que hay en el edificio. Si estimamos las horas al día que se usan los diferentes dispositivos, obtenemos una energía consumida de 9,94 kWh/día (Tabla 5) que repartimos de manera proporcional a los horarios de equipos de la Figura 51, consiguiendo así una curva diaria de la potencia consumida en dispositivos.

Equipo y potencias	Potencia (W)	Unidades	Potencia (kW)	Horas utilización	Energía kWh/día
Ordenador	80	6	0,48	8	3,84
Fotocopiadora	900	1	0,9	2	1,80
Impresora	20	2	0,04	2	0,08
Microondas	1000	1	1	1	1,00
Fax	825	1	0,825	1	0,83
Máquina de café	700	1	0,7	2	1,40
Trituradora de papel	390	1	0,39	0,5	0,20
Otros	5	20	0,1	8	0,80
<b>Total</b>					<b>9,94</b>

Tabla 5: Equipos, potencias, horas de utilización y consumos

Además, en el caso de los equipos y electrodomésticos, habrá que tener en cuenta un consumo residual o stand-by durante las horas en las que el edificio está vacío y no está siendo usado.

A partir de la información recopilada en las visitas y datos obtenidos para dispositivos genéricos (9,10), se obtiene una tabla con los mencionados consumos residuales (Tabla 6), de manera que el consumo de iluminación y equipos durante las horas en las que el edificio está vacío (0:00-8:00 y 20:00-00:00), será igual a la suma de todos estos consumos stand-by.

Equipo y potencias	Unidades	Stand-by (W)	Potencia Stand-by (kW)
Ordenador	6	5	0,03
Fotocopiadora	1	8	0,008
Impresora	2	8	0,016
Microondas	1	4	0,004
Fax	1	5	0,005
Máquina de café	1	5	0,005
Trituradora de papel	1	2	0,002
Router	1	3	0,06
<b>Total</b>			<b>0,13</b>

Tabla 6: Equipos y potencias stand-by

Por último, la Figura 52 representa las curvas de iluminación y equipos y la suma de ambas:

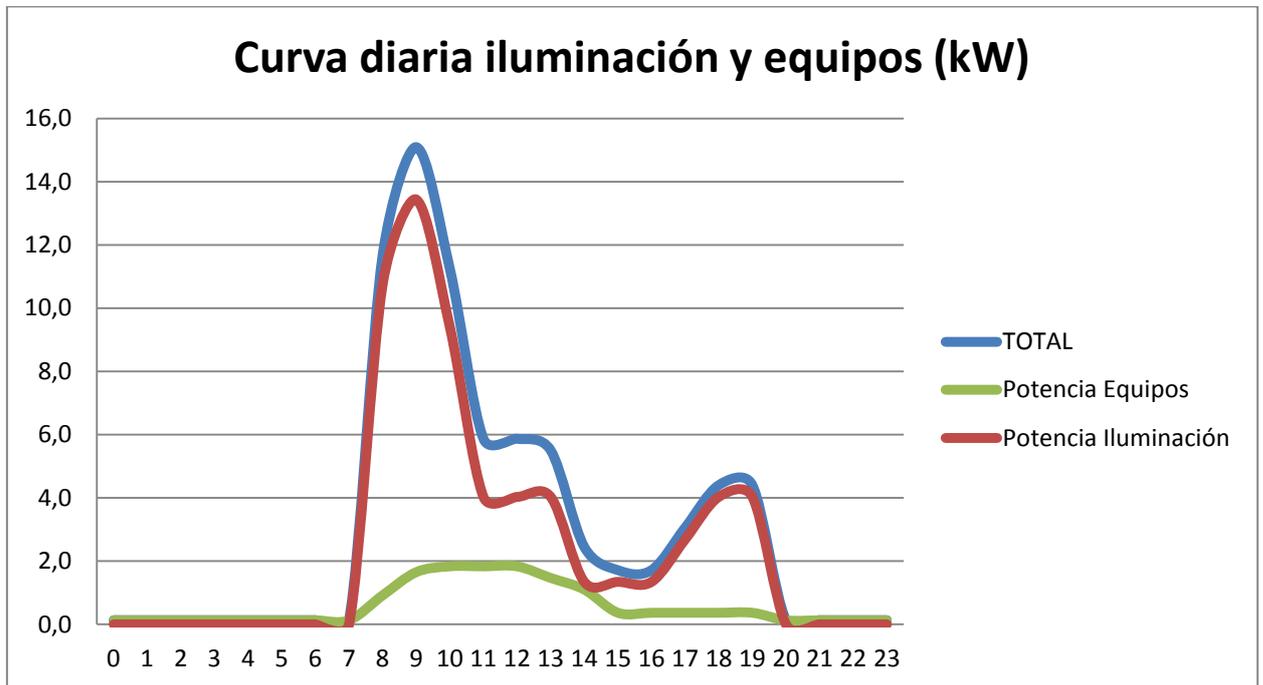


Figura 52: Curva diaria de potencia en iluminación y equipos (kW)

### 6.4.3 Climatización

Para obtener la curva de potencia de refrigeración y calefacción nos basamos en los datos experimentales que se realizaron en una parte del edificio.

Los consumos medidos para climatización no son fieles cuantitativamente al consumo real del edificio, ya que solo fueron medidos en, aproximadamente, un cuarto del edificio. Sin embargo, aportan información cualitativa de la curva de calefacción y refrigeración y de la respuesta térmica del edificio.

Los consumos bi-horarios en kWh se han pasado a consumos horarios y, posteriormente, a potencias, en kW. Los consumos correspondientes a las horas 7:00 y 8:00 se han modificado de la siguiente manera, para conseguir que se ajusten en mayor grado a la realidad:

- El consumo de 7:00 a 8:00 se ha igualado al del resto de horas en las que el edificio está cerrado y, por tanto, no está siendo usado ni climatizado.
- La energía sobrante como consecuencia de este ajuste se ha concentrado en el periodo de 8:00 a 9:00 de la mañana, hora de apertura del edificio y comienzo del horario de mañana.

La Figura 53 representa el reparto horario de los consumos en calefacción. Este reparto se ha obtenido a partir de los datos registrados correspondientes al consumo en climatización durante los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero para los años 2013 y 2014.

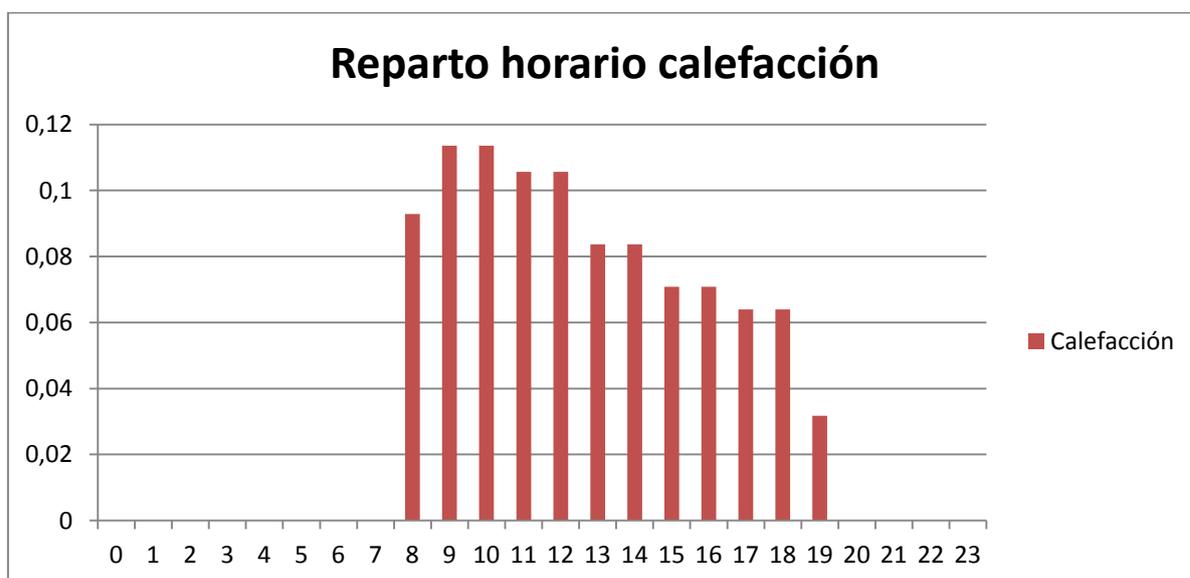


Figura 53: Reparto horario del consumo en calefacción

A pesar de que los valores numéricos no nos aportan información útil, se puede observar claramente las horas del día que tienen un mayor uso de calefacción durante los meses de invierno:

- La mayor parte del consumo en calefacción se da durante las horas de mañana (8:00-15:00), debido a que la mayor parte de los locales tienen valores altos de ocupación.

- Durante el horario de tarde (15:00-20:00), se mantiene un consumo considerable en calefacción, debido a que a medida que los locales y el edificio se vacían y pierden uso, la temperatura externa disminuye, al igual que la radiación solar absorbida y las cargas térmicas internas (ocupación, iluminación y equipos), por lo que hace falta un mayor consumo para mantener condiciones de confort en las partes del edificio que continúan usándose.
- Si analizamos de manera más concreta el consumo durante el horario de mañana, se observa que a medida que nos acercamos al mediodía, el gasto en calefacción disminuye ligeramente, debido a que la radiación solar recibida durante esas horas es mayor. El pico de consumo se produce de 9:00 a 11:00 de la mañana, ya que la mayor parte de los locales del edificio están en uso completo y necesitan mantener condiciones internas de confort, pero la temperatura exterior sigue siendo bastante baja y no se recibe tanta radiación solar directa como en las horas centrales del día.

La Figura 54 muestra el reparto horario del consumo en refrigeración (meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 2013 y 2014), de manera que podemos observar durante qué horas se suelen producir los picos de consumo en climatización.

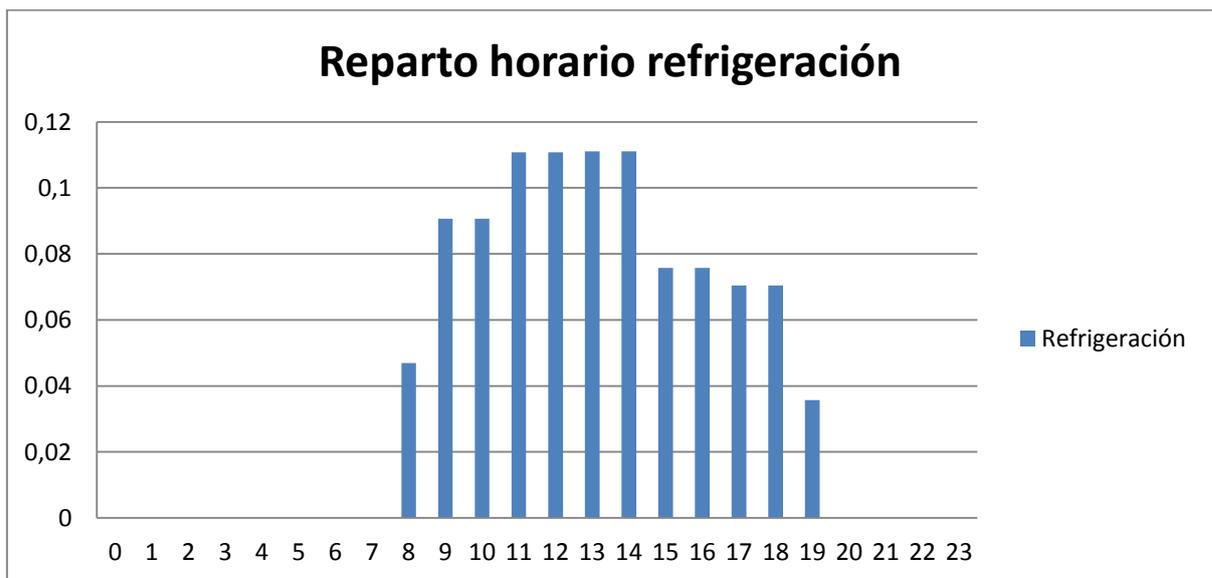


Figura 54: Reparto horario del consumo en refrigeración

Al igual que en el análisis de la curva de calefacción, debemos centrarnos en la tendencia y la curva aproximada de los consumos, sin tener en cuenta los valores numéricos, de esta manera, se puede concluir lo siguiente:

- Durante el horario de mañana (8:00-15:00) se concentra la mayor parte del consumo en refrigeración del edificio, ya que se usan la mayor parte de locales del edificio y existe mayor carga térmica de personas, equipos e iluminación.

- El consumo aumenta en las horas cercanas al mediodía (11:00-15:00), debido a que la temperatura exterior es mayor y se recibe más radiación solar directa que en las primeras horas de la mañana.
- Durante el horario de tarde existe cierto consumo, sobre todo en las primeras horas de la tarde (15:00-18:00), cuando aún existe considerable radiación solar. Sin embargo, el consumo va disminuyendo a medida que disminuye la temperatura exterior y el porcentaje de ocupación de los locales.

Sin embargo, estas curvas del consumo en climatización del edificio no se ajustan a los valores reales del edificio con uso completo de sus locales. La simulación mediante Calener proporciona los valores anuales de energía consumida en calefacción y refrigeración. A pesar de esto, es necesario conocer cómo se reparte estos consumos en calefacción y refrigeración a lo largo del año, es decir, conocer la curva anual de energía consumida y, a partir de ella, poder estimar los consumos mensuales en climatización.

Esta curva anual se estimará a partir de las facturas eléctricas del edificio.

#### 6.4.4 Consumos mensuales (facturas)

A continuación, se analizarán las facturas eléctricas del edificio de Benaguacil. Hay que tener en cuenta que las facturas eléctricas proporcionan información sobre el consumo energético total del edificio, ya que todos los sistemas funcionan mediante energía eléctrica (iluminación, climatización y equipos), no existe, por tanto, demanda de gas natural u otras fuentes energéticas.

A pesar de que los valores numéricos no pueden ser analizados cuantitativamente, ya que el periodo temporal que cubre las facturas no es representativo del uso actual (el edificio se encontraba infrautilizado), sí que se podrá obtener información en tres aspectos:

- Curva anual que muestra la diferencia de consumos en un año típico del edificio, permitiendo así el cálculo de los consumos aproximados en climatización.
- Comprobación y obtención del consumo de stand-by o residual del edificio, los días festivos en los que permanece cerrado.
- Comprobación de que los horarios del edificio y las curvas diarias se ajustan a la realidad observada según los periodos horarios reflejados en las facturas.

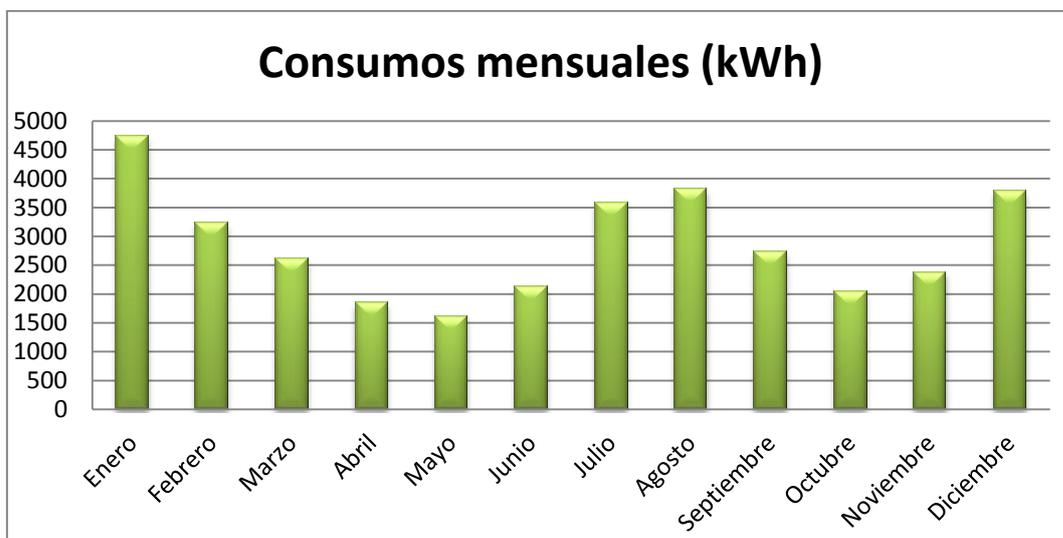
En primer lugar, pasamos los consumos energéticos de cada factura a consumo mensuales aproximados. Para ello, los consumos que aparecen en cada factura (que abarcan varios meses) se reparten entre los meses correspondientes, de manera proporcional al número de días de cada mes que contiene la factura. Cálculo detallado en el Anexo 2.

A continuación, se dividen los meses en periodo de verano y periodo de invierno. De acuerdo a Iberdrola, los periodos coinciden con el cambio horario de primavera y de otoño. En 2013, la hora se cambió el 31 de Marzo y el 27 de Octubre, por tanto, la Tabla 7 muestra este reparto de meses por estaciones del año:

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Invierno			Verano						Invierno		

**Tabla 7: Reparto de meses en estaciones anuales**  
Fuente: Iberdrola

En la Figura 55, que muestra los consumos ya agrupados mensualmente, se pueden distinguir claramente los meses del año que mayor consumo energético tuvieron: Diciembre, Enero, Julio y Agosto. Durante los meses más fríos de invierno y más cálidos de verano es cuando el edificio tiene un mayor consumo eléctrico empleado en cubrir las cargas térmicas producidas por las condiciones climáticas externas.



**Figura 55: Consumos mensuales según facturas (kWh)**

La variación entre meses es consecuencia de esta variación en la demanda de climatización, ya que las cargas de iluminación y equipos se mantienen aproximadamente constantes a lo largo del año. Por tanto, los meses con condiciones climáticas más suaves (Abril, Mayo, Octubre) muestran cual es el consumo aproximado del edificio descontando gasto en climatización.

Esta relación entre el consumo del edificio y las condiciones climáticas exteriores se puede confirmar comparando, cualitativamente, los consumos mensuales anteriormente mostrados con los grados día correspondientes a ese año 2014.

A partir de los datos meteorológicos de la estación de Liria durante el año 2014, se ha calculado la diferencia en grados centígrados para cada hora respecto a la temperatura consigna de 24°C. Estos grados día se han agrupado mensualmente, de manera que sea posible su comparación con los consumos mensuales de energía.

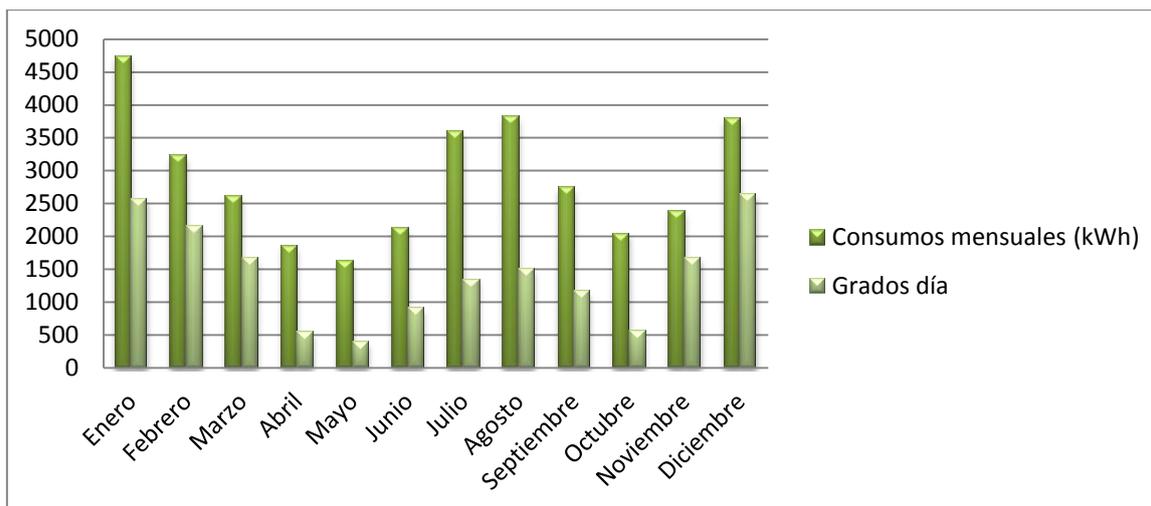


Figura 56: Comparación mensual, consumos y grados día

En la Figura 56 se observa la relación en el perfil anual entre los consumos mensuales y la diferencia de temperaturas entre el exterior del edificio y la temperatura de confort. Sin embargo, el método de los grados día no tiene en cuenta la radiación solar recibida, que en un edificio de una planta es de notable importancia. Es por ello que el perfil de los consumos mensuales está más acentuado en verano y menos en invierno (respecto al perfil de grados día).

#### 6.4.5 Consumos diarios (facturas)

Para conseguir estimar la curva de potencia diaria del edificio, nos basaremos en los periodos en los que se divide el consumo facturado. Las facturas son de tipo 3.0A, aunque se especifica el consumo en seis periodos: 3 para laborables y 3 para festivos. La Tabla 8 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el reparto horario según estos periodos.

Periodos factura	Invierno	Verano
Valle	0:00-8:00	0:00-8:00
Llano	8:00-18:00	8:00-11:00
Punta	18:00-22:00	11:00-15:00
Llano	22:00-0:00	15:00-0:00

Laborables			Festivos		
Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
P1	P2	P3	P4	P5	P6

Tabla 8: Periodos recogidos en las facturas

Fuente: Iberdrola

Mediante la función DIAS.LAB, y teniendo en cuenta días festivos nacionales y locales, obtenemos el número de días laborables (y festivos) que hay en cada mes, y con el consumo mensual por periodos, y las horas que cada periodo tiene al mes, obtenemos potencias aproximadas durante cada uno de los seis periodos.

Por ejemplo, para obtener la potencia aproximada del periodo 2 en Enero, utilizamos la Ecuación 1, de la siguiente manera:

1. Consumo total en Enero durante el periodo 2: 3612,82 kWh.
2. Días laborables de Enero: 21 días.
3. Horas con periodo llano al día: 12 horas.
4. Potencia aproximada del periodo 2 de Enero:

$$\frac{3612,82}{21 \cdot 12} = 14,33 \text{ kW}$$

Ecuación 1

A continuación, asignamos a cada hora del día, la potencia correspondiente a su periodo, de acuerdo a los horarios de la Tabla 8. Obtenemos, por tanto, 24 curvas diarias de la potencia aproximada de nuestro edificio.

#### 6.4.5.1 Días festivos

Analizaremos, en primer lugar, las 12 curvas correspondientes a los días festivos de cada mes del año. Estas curvas muestran una diferenciación entre verano e invierno debida a la distinta división del día en periodos. Sin embargo, los consumos son tan bajos y similares que se puede hacer un análisis conjunto de todas ellas. La Figura 57 compara las curvas de dos meses representativos de los dos periodos anuales:

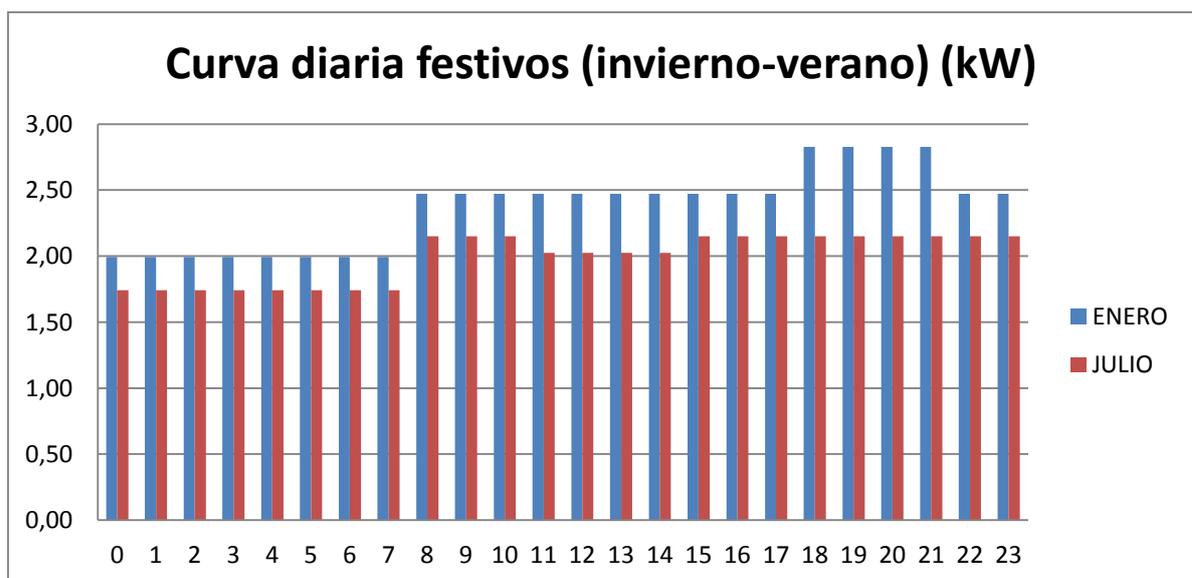


Figura 57: Curva diaria festivos (invierno-verano) (kW)

A pesar de existir ligeras variaciones entre los diferentes periodos del día, los valores se mantienen dentro de un rango relativamente bajo de potencias. Debido a que el edificio no suele usarse los días festivos salvo en casos esporádicos (algún sábado por la tarde), el consumo observado durante estos días se achaca a consumos stand-by y residuales. La ligera variación entre periodos se explica por los usos esporádicos ya comentados.

En la Figura 58 se puede observar más claramente la similitud entre los consumos de los días festivos de todos los meses del año:

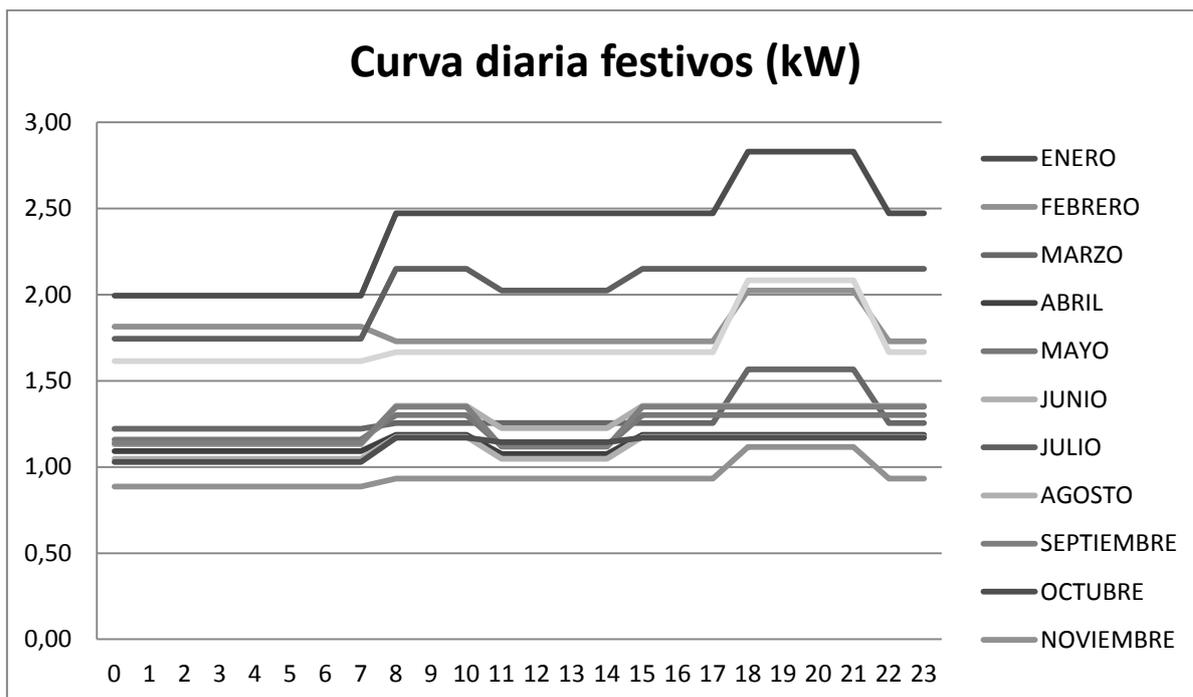


Figura 58: Curva diaria festivos (kW)

Como ya se ha comentado, la mayor parte de los valores se concentran entre 1 y 2 kW, consumos asumibles como residuales. No existe tampoco una diferenciación clara entre los meses suaves y los más fríos y cálidos, lo que indica que los consumos analizados son independientes de las condiciones climáticas externas y, por tanto, de la climatización y el uso del edificio.

A pesar de esto, para obtener un valor más aproximado del consumo stand-by de los sistemas de climatización, iluminación y de los equipos, se promedia las potencias eléctricas registradas los días festivo durante las primeras horas del día (0:00-8:00).

El resultado obtenido que será el considerado posteriormente como consumo residual del edificio es de 1,32 kW.

### 6.4.5.2 Días laborables

Nos centraremos, a continuación, en las 12 curvas correspondientes a los días laborables de cada mes, entre las que se diferencian los meses de invierno (Figura 59) y los meses de verano (Figura 60).

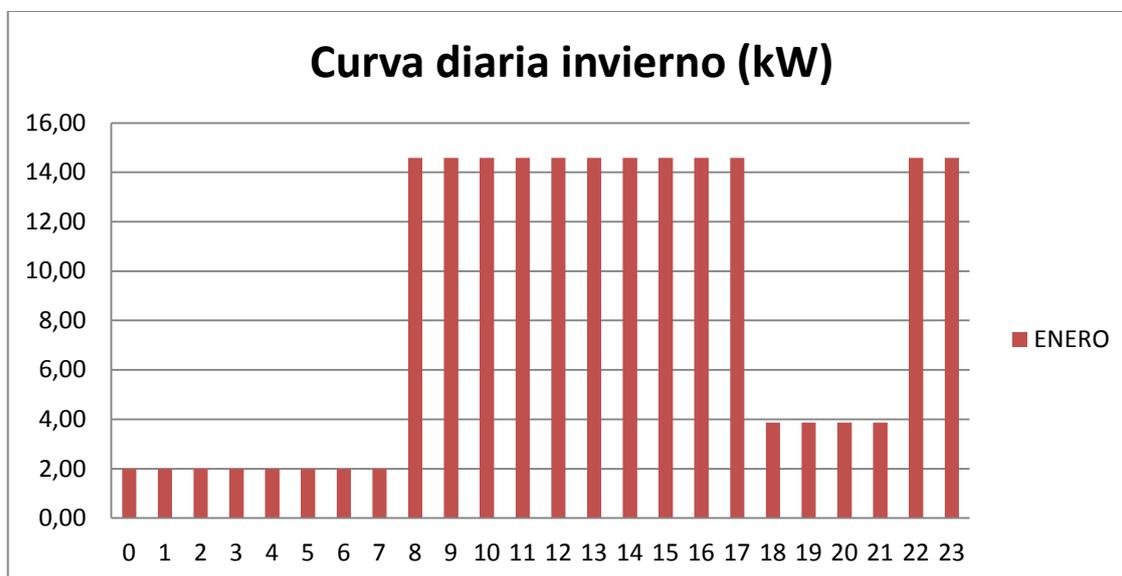


Figura 59: Curva diaria invierno (kW)

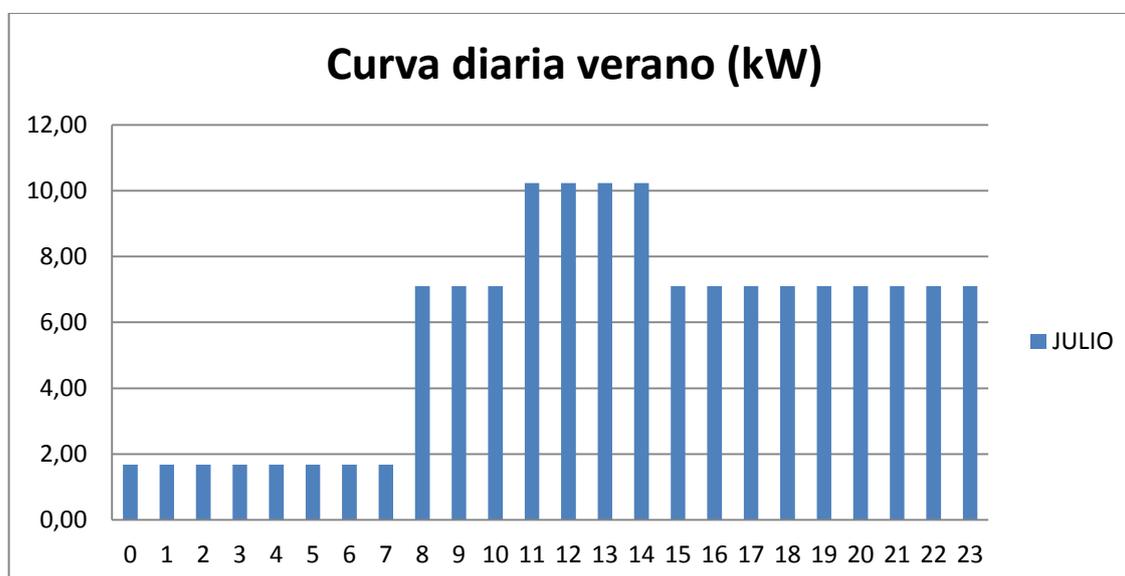


Figura 60: Curva diaria verano (kW)

Estas curvas, sin embargo, necesitan ser ajustadas convenientemente para que se aproximen más fielmente a los consumos y las potencias reales del edificio.

El horario de uso del edificio, los días laborables, es el siguiente:

- Horario de mañana: actividad media-alta de 8:00 a 15:00.
- Horario de tarde: actividad baja de 15:00 a 20:00.

Como los periodos diarios varían entre verano e invierno, el ajuste debe de ser específico para cada uno de estos dos casos. El periodo de valle es el mismo para todo el año, de 0:00 a 8:00, y al estar fuera del horario de uso del edificio, se considera que es la potencia aproximada de stand-by y consumos residuales del edificio.

### Invierno

- Las últimas horas del día (22:00-00:00) pertenecientes al periodo llano, se igualan a la potencia valle o residual, y la energía sobrante de estas horas se añade a las siete primeras horas del periodo llano (8:00-15:00), correspondientes al horario de día del edificio.
- Las últimas horas del periodo punta (20:00-22:00) se igualan a la potencia valle o residual, y la energía sobrante de estas horas se añade a las dos primeras horas del periodo punta (18:00-20:00), correspondiente al horario de tarde del edificio.
- Las tres horas del periodo llano que pertenecen al horario de tarde (15:00-18:00), se igualan a la potencia punta durante el horario de tarde (18:00-20:00), de manera que se consigue un consumo de tarde homogéneo, y la energía restada de esta manera se añade, nuevamente, a las siete primeras horas de periodo llano (8:00-15:00).

Las curvas diarias de los meses de invierno, así ajustadas, se aproximan más al horario del edificio y, por tanto, a su curva real, como podemos ver en la Figura 61.

En ella se distinguen claramente los horarios del edificio (no uso, mañana y tarde).

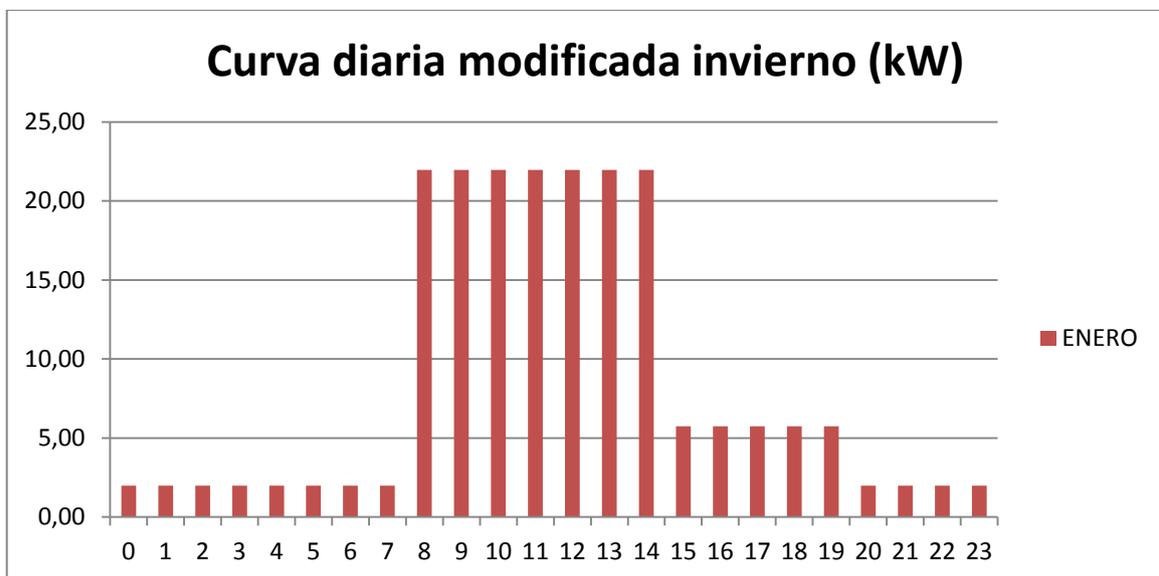


Figura 61: Curva diaria modificada invierno (kW)

## Verano

- Las últimas horas del día (20:00-00:00) pertenecientes al periodo llano, se igualan a la potencia valle o residual, y la energía sobrante de estas horas se añade a las tres primeras horas del periodo llano (8:00-11:00).
- Respecto a las cinco horas restantes de periodo llano de la tarde (15:00-20:00) se hace lo siguiente, teniendo en cuenta que se debe conseguir una distinción entre horario de mañana (más actividad) y horario de tarde (menos actividad):
  - Si la potencia durante este periodo de tarde es mayor que la potencia punta (11:00-15:00), se iguala a esta potencia punta y la energía restante se añade a las primeras horas del periodo llano (8:00-11:00)
  - Si la potencia durante este periodo de tarde es menor que la potencia punta (11:00-15:00), se dejará como estaba originalmente.

La Figura 62 representa la curva de Julio una vez ajustada de acuerdo a lo señalado anteriormente, en ella se puede distinguir los horarios de uso del edificio, además de un pico de consumo en las primeras horas del día, lo cual suele ser comúnmente debido a la climatización del edificio.

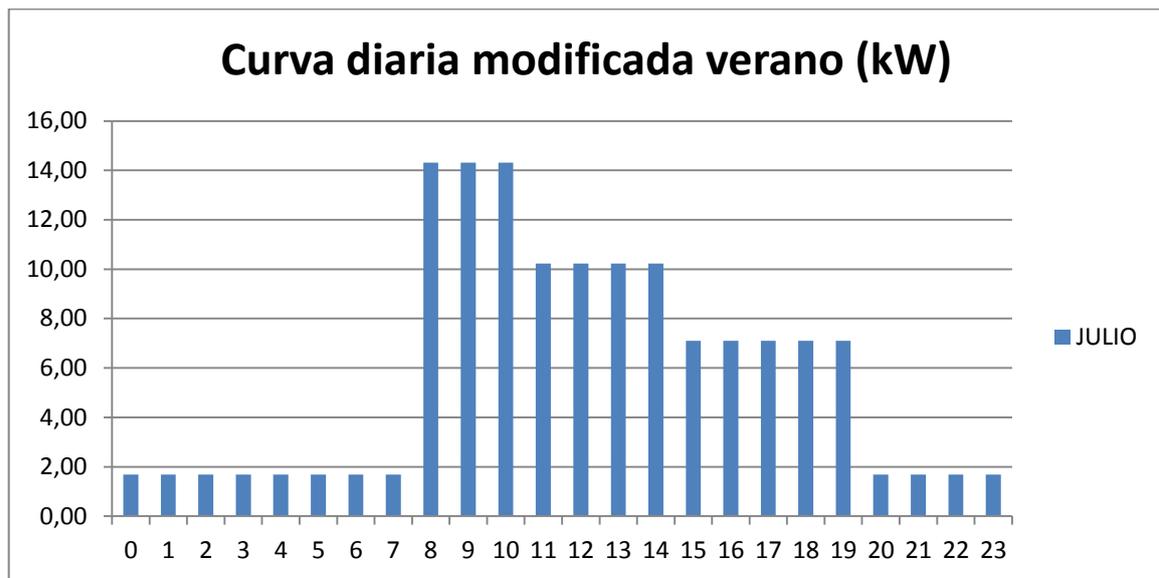


Figura 62: Curva diaria modificada verano (kW)

### 6.4.6 Estimación curvas diarias por mes

Con las principales curvas de usos energéticos del edificio ya, se procede a estimar la curva diaria de potencia total del edificio. Sin embargo, para ello se debe ajustar la curva de climatización obtenida a partir de medidas experimentales.

Para adaptar esta curva experimental a los valores anuales obtenido mediante el programa Calener, se utiliza también la curva anual de consumo energético obtenida a partir de las facturas eléctricas del edificio.

Así, en la Tabla 9 se calcula el porcentaje de climatización que supone cada mes del año respecto al total anual. Para ello, se considera el mes de Mayo como mes base (sin gasto en climatización) debido a que registra el consumo más pequeño del año, y que se caracteriza por temperaturas suaves.

El consumo en climatización de cada mes se calculará, por tanto, como el consumo total de ese mes menos el consumo del mes de Mayo (consumo base en otros usos).

Se considera que los únicos meses con consumo considerable de refrigeración son los meses de verano (Junio, Julio, Agosto y Septiembre), mientras que el resto de meses (exceptuando Mayo) consumirán energía eléctrica en calefactar los locales.

	Consumos mensuales (kWh)		Porcentaje		
	Totales	Climatización	Total	Refrigeración	Calefacción
Enero	4740	3126	0,21	-	0,33
Febrero	3236	1622	0,11	-	0,17
Marzo	2614	1000	0,07	-	0,11
Abril	1850	235	0,02	-	0,03
Mayo	1615	0	0,00	-	-
Junio	2125	511	0,03	0,09	-
Julio	3593	1979	0,13	0,34	-
Agosto	3821	2206	0,15	0,38	-
Septiembre	2739	1125	0,07	0,19	-
Octubre	2042	427	0,03	-	0,05
Noviembre	2378	764	0,05	-	0,08
Diciembre	3785	2171	0,14	-	0,23
TOTAL	34539	15165	1	1	1

**Tabla 9: Reparto mensual del consumo en climatización**

Por tanto, con los resultados obtenidos del CalenerVYP para los apartados de energía final consumida en calefacción y refrigeración, obtenemos los consumos en estos usos para cada mes de los seleccionados, como muestra la Figura 63:

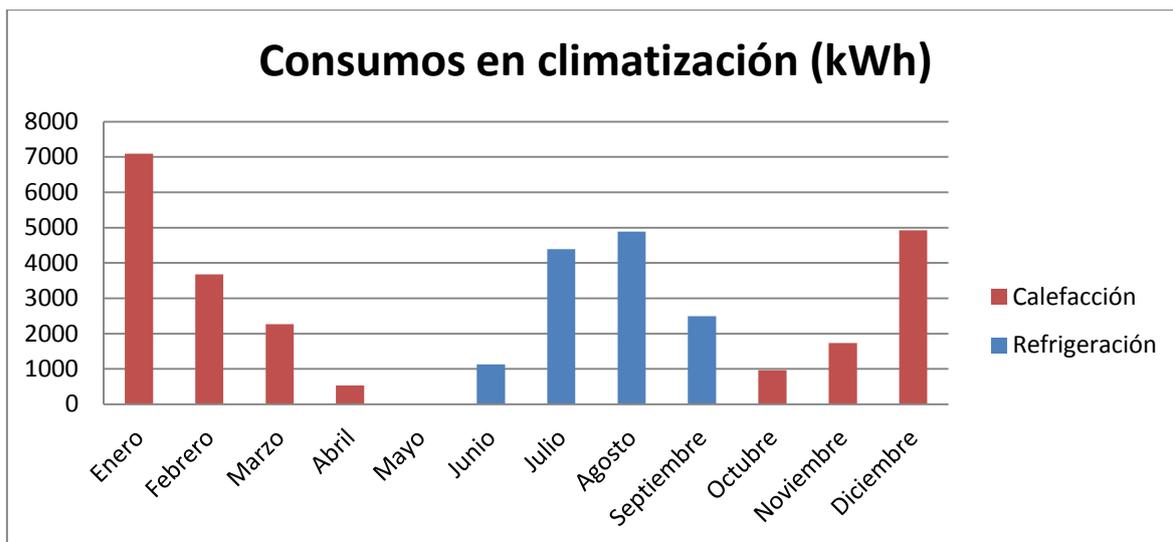


Figura 63: Consumos mensuales en climatización (kWh)

Por último, se debe adaptar las curvas de climatización experimentales (Figura 53 y Figura 54) al consumo en climatización arriba mostrado para los diferentes meses del año.

En primer lugar, se estima el consumo stand-by o residual del equipo de climatización a partir de los datos experimentales de las horas en las que el edificio estaba vacío.

El promedio de la potencia medida durante estas horas es de, aproximadamente, 0,41 kVAr. Este valor, sin embargo, debe ser corregido, ya que mediante el sistema de pinzas amperimétricas usado, se mide la potencia aparente, y no la potencia real. Cuando el sistema está en funcionamiento, se considera un valor del coseno de phi muy elevado (próximo a la unidad), sin embargo, al tratarse de consumos residuales, el coseno de phi disminuye y es conveniente considerar esta diferencia.

Además, para intensidades bajas, los errores de medición de las pinzas cobran importancia, de manera que la menor medida de la pinza (0,05 A) supone un error de 0,01 kVAr. Para los valores consumidos en stand-by, esto supone un error de medición de, aproximadamente, un 2,8%.

Con todo ello, se estima que el valor de la potencia real durante las horas en las que el edificio se encuentra vacío y el sistema de climatización apagado es de  $0,31 \pm 0,01$  kW. Este valor, correspondiente a una de las cuatro zonas climáticas, debe ser multiplicado por cuatro. Por lo que la potencia residual del sistema de climatización completo es de 1,23 kW.

A continuación, la energía consumida para cada mes en climatización (Figura 63) se reparte entre los días laborables de ese mes, restando la energía consumida los días festivos en forma de energía residual. Posteriormente, la energía consumida cada día laborable, se reparte entre las horas del día en las que el edificio está en uso, de acuerdo a los porcentajes obtenidos a partir de los datos experimentales (Figura 64).

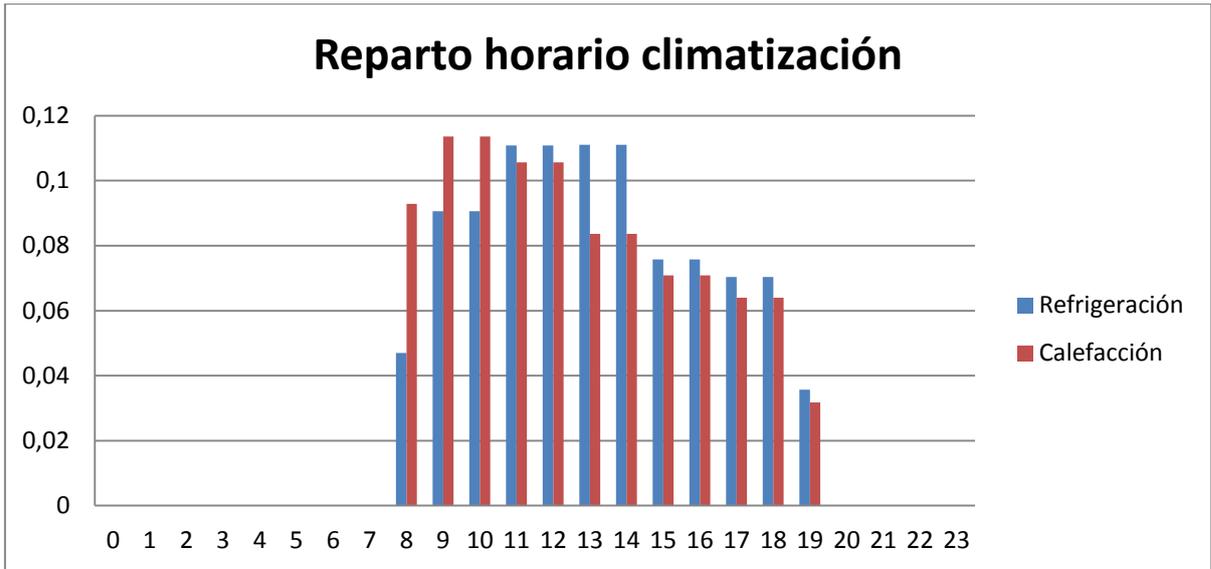


Figura 64: Reparto horario del consumo en refrigeración y calefacción

Sin embargo, para los meses de menor consumo energético (Abril, Mayo y Octubre), el consumo correspondiente en climatización es menor o muy parecido al consumo residual de este sistema. Es por ello que se considera que durante estos meses, las demandas de calefacción y refrigeración son prácticamente despreciables, y se considera que la potencia del sistema de climatización es su potencia stand-by a lo largo de todo el día.

La Figura 65 muestra ejemplos de estas curvas diarias de climatización, en este caso, corresponden a los meses de Febrero, Marzo, Julio y Agosto.

Durante las horas en las que el edificio no está siendo usado, la potencia estimada será la calculada anteriormente como potencia residual del sistema de climatización (1,23 kW), repartiéndose la energía sobrante entre el resto de horas del día, respetando los porcentajes obtenidos empíricamente mostrados anteriormente.

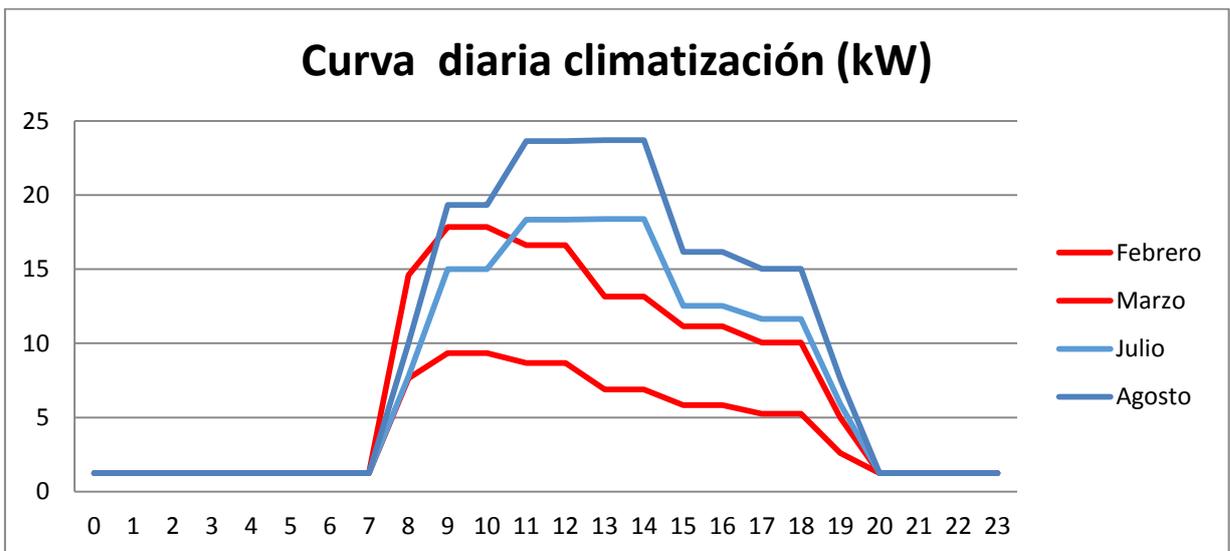


Figura 65: Curva diaria de potencia en climatización (kW)

Estas curvas horarias se suman a las calculadas para equipos e iluminación (Figura 52), proporcionando las curvas de potencia horaria totales del edificio.

A continuación se analizarán diferentes curvas diarias de potencia, de diversos meses del año, para resaltar las diferencias y particularidades de estas curvas dependiendo de la época del año que se analice. En las curvas se muestran las potencias consumidas en cada hora del día para cada uso energético (climatización, iluminación y equipos) así como la suma de las tres.

En primer lugar, la Figura 66 muestra la curva de potencia horaria del mes de Febrero, como representación del periodo de invierno.

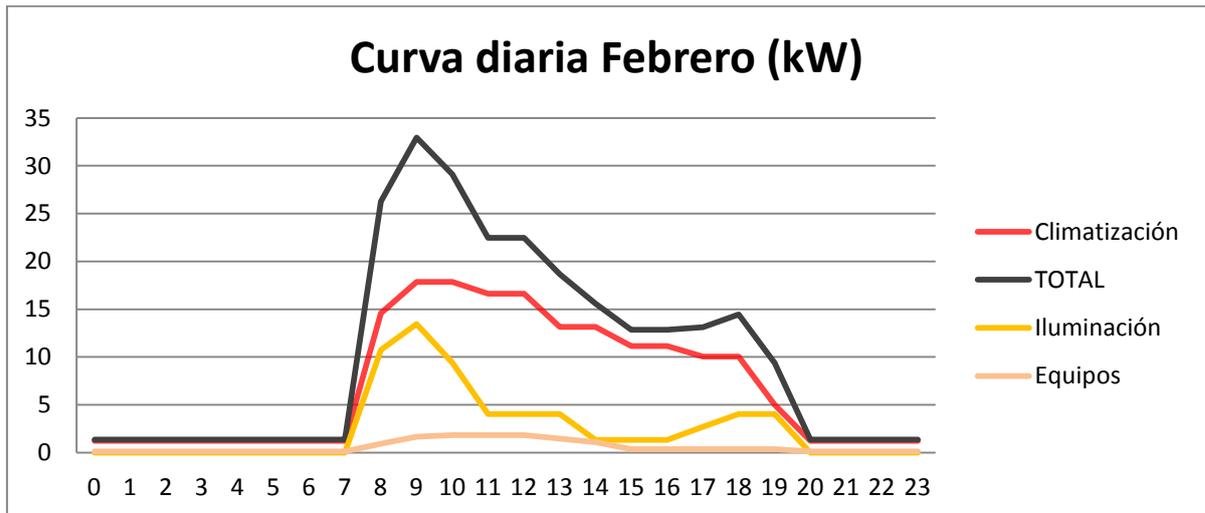


Figura 66: Curva diaria de potencia total Febrero (kW)

En el caso de los meses de invierno, el gasto en climatización es muy elevado, como ya se observaba en la curva de consumos mensuales (Figura 63). Es por ello que durante todas las horas del día, la potencia del sistema de calefacción supera ampliamente las potencias de iluminación y equipos. Por tanto, la curva total de la potencia energética del edificio es muy similar a la curva de la potencia en climatización durante la mayor parte del día.

La potencia de equipos es prácticamente despreciable durante todo el día, debido una vez más a la clara superioridad del consumo en calefacción.

En segundo lugar, la Figura 67, representa las curvas características del periodo de verano (Julio, en este caso).

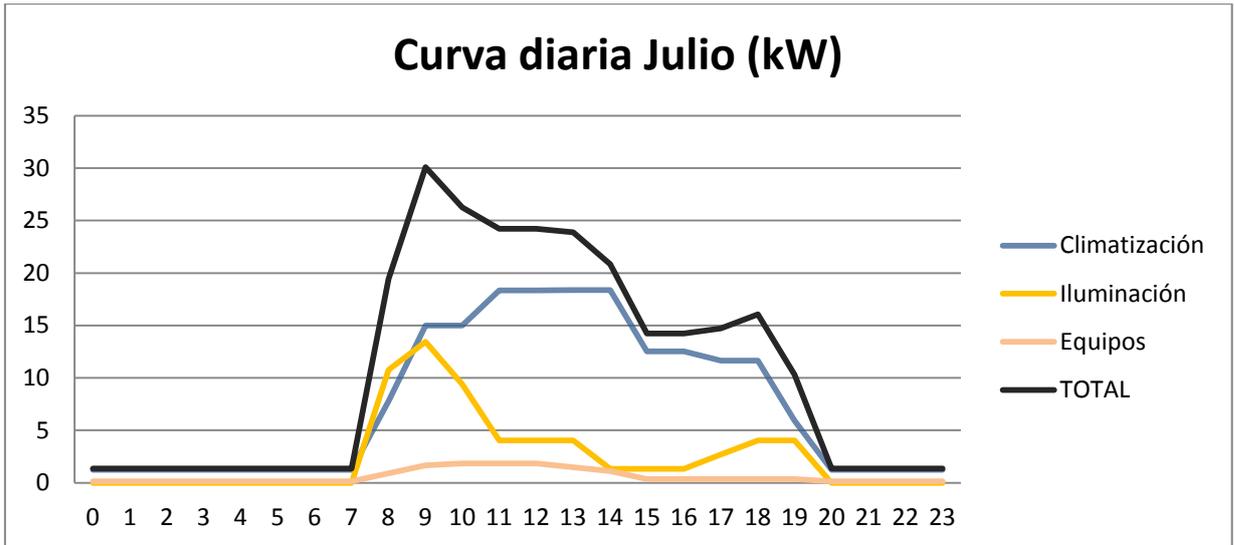


Figura 67: Curva diaria de potencia total Julio (kW)

En este caso, la potencia en climatización es incluso más elevada que en el mes de Febrero, por lo que continúa siendo el uso predominante de energía.

Se puede observar como el pico en iluminación característico de las primeras horas del día coincide con un gasto reducido en refrigeración, debido a que durante esas horas, la temperatura externa y la radiación solar recibida no son tan altas como durante las horas centrales del día y, además, se aprovecha la inercia térmica del edificio, que mantiene parte del frío nocturno.

Por último, la Figura 68, muestra la curva diaria del mes de Abril, similar a la de meses como Mayo, Junio u Octubre, que tienen en común unas condiciones climáticas suaves y su consecuente consumo reducido en climatización.

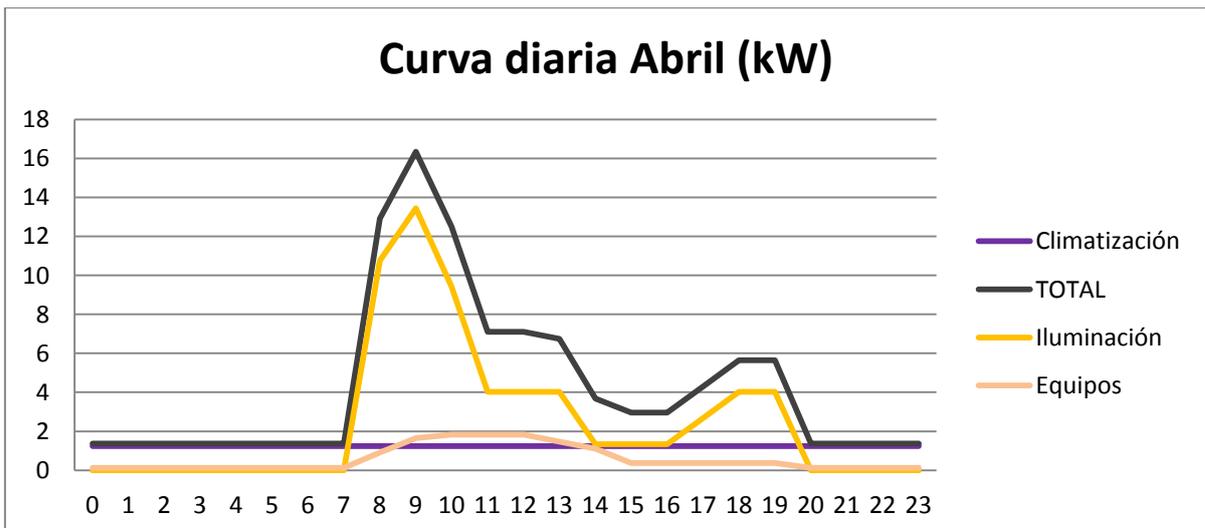


Figura 68: Curva diaria de potencia total Abril (kW)

Como ya se ha comentado, el consumo en climatización durante estos meses es muy reducido, correspondiente a los consumos residuales de los equipos de climatización, por lo que se mantiene constante a lo largo del día.

Como consecuencia, la curva que predomina en este caso y que tiene un mayor peso en la forma de la curva total, es la curva de potencia en iluminación, seguida de la curva de equipos, que durante las horas de mayor uso de los locales supera en potencia a la correspondiente a climatización.

A pesar de existir estas diferencias en las curvas diarias, según los meses del año que se analicen, las curvas mantienen una forma similar entre ellas, relacionada, como cabía esperar, con el horario de uso del edificio y las condiciones climáticas externas:

- Mayores potencias durante el horario de mañana del edificio (8:00-15:00).
- Menores potencias durante el horario de tarde, cuando el uso del edificio disminuye notablemente (15:00-20:00).
- Potencias de stand-by durante las horas en las que el edificio está vacío.
- El pico de potencia se da a las 9:00 debido a que existe un uso completo del edificio y se deben aclimatar e iluminar todos los locales. Además, en los meses de invierno, es una hora en la que el exterior continúa estando considerablemente frío.

#### **6.4.7 Resumen curvas mensuales y diarias**

En resumen, además de las diferencias en la forma de las curvas, también existe una diferencia clara en los valores cuantitativos de las mismas, debida, como ya se ha comentado, a la variación existente en las potencias en climatización para los distintos meses.

De esta manera, a lo largo de todo el año se observa una clara variación de los valores de potencia horaria. Esta evolución anual de la potencia horaria se corresponde con la evolución anual del consumo energético. Para representar esta evolución del consumo total, se añade a la curva de climatización mostrada en la Figura 63, los consumos energéticos en iluminación y equipo.

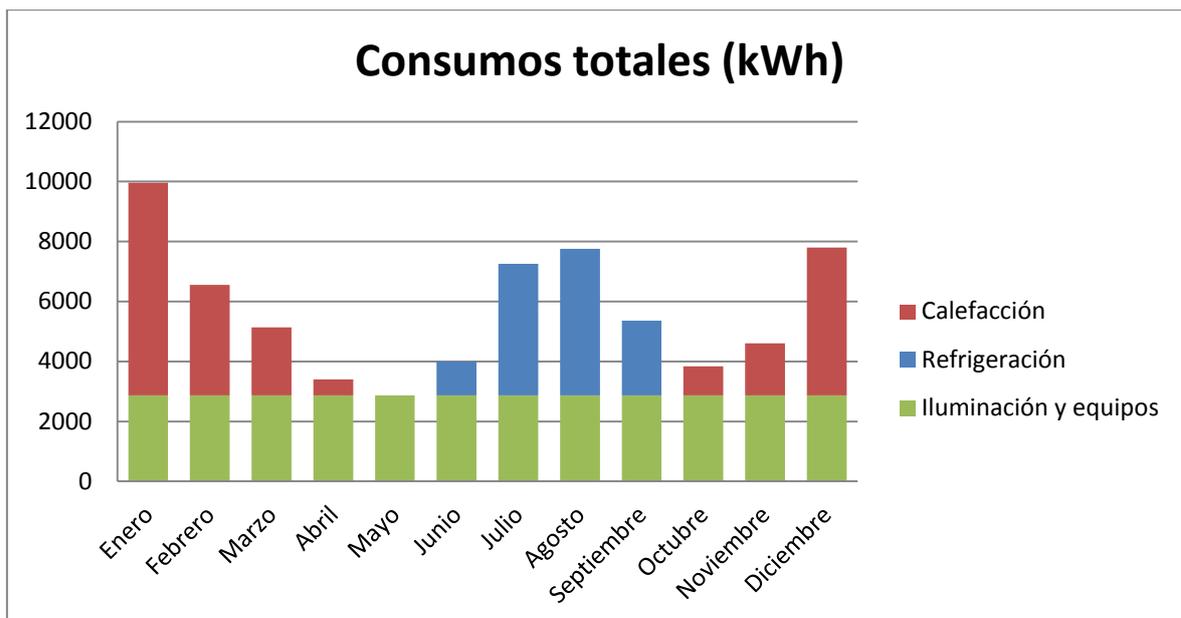


Figura 69: Consumos mensuales totales (kWh)

La Figura 69 resume todo lo comentado anteriormente. Por un lado, se observa un mayor consumo (y, por tanto, de potencia) durante los meses de invierno, seguidos de los meses de verano y, por último, los meses intermedios y más neutros.

En segundo lugar, se observa como a medida que el consumo total disminuye, aumenta el peso de los consumos y potencias en iluminación y equipos, ya que estos se mantienen constantes durante todo el año. Como se observaba en la Figura 68, la potencia consumida en iluminación y equipos supera a la correspondiente a climatización en meses como Abril, Mayo, Junio, Octubre o Septiembre.

A continuación, se procede a analizar las diferentes medidas de eficiencia energética que se proponen para reducir este consumo energético hasta cumplir los objetivos propuestos.

Por último, a partir de las doce curvas modificadas y ajustadas a los requerimientos del Edificio de Consumo Casi Nulo, se realizará un análisis de las fuentes de energía renovable óptimas para obtener el porcentaje de energía final correspondiente.



## 7. ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN RENOVABLE

### 7.1 Medidas de Eficiencia

Con el objetivo de conseguir la reducción de consumo energético suficiente para cumplir los requerimientos de los Edificios de Consumo Casi Nulo, se deben implementar una serie de medidas de eficiencia energética que reduzcan, tanto las demandas energéticas en climatización e iluminación, como los consumos necesarios para cubrir estas demandas.

#### 7.1.1 Reducción de la demanda energética

En primer lugar, se procede a analizar una serie de medidas que disminuyan la necesidad energética del edificio. Esta necesidad energética se concentra en dos focos, la climatización y la iluminación, ya que la necesidad energética de los equipos es muy reducida y viene determinada, principalmente, por el uso propio de los locales.

##### 7.1.1.1 Climatización

Respecto a la climatización, la principal manera de disminuir la demanda energética es mejorar el aislamiento de la envolvente y la cubierta, de manera que las condiciones climáticas del exterior tengan un impacto menor en el interior del edificio, y así, se necesite menos consumo energético para mantener estas condiciones internas dentro de los límites de confort.

Con el objetivo de conseguir esta reducción de la demanda energética, principalmente de calefacción, ya que supone el mayor consumo de energía primaria del edificio, se propone la implantación de una cubierta vegetal (*greenroof*) en la práctica totalidad de la cubierta del edificio.

A partir de un estudio realizado en el mismo edificio de Benaguacil [17], se ha podido estudiar y cuantificar el impacto beneficioso que este tipo de cubierta tiene en la reducción de la demanda energética del edificio.

El estudio, que no se detallara en el presente trabajo, estima un ahorro de climatización igual al mostrado en la Tabla 10.

	Variación
Energía final calefacción	5%
Energía final refrigeración	-25%
Demanda calefacción	10%
Demanda refrigeración	-45%

Tabla 10: Variación de la cubierta vegetal  
Fuente: E2STORMED. IIE, UPV

Como se puede observar, la cubierta tiene un efecto ligeramente negativo durante los meses de invierno ya que reduce el flujo de calor entrante al edificio y la radiación solar absorbida.

Durante los meses de verano, sin embargo, esta disminución del flujo de calor, sumado al efecto aislante de la cubierta y al efecto refrigerante de la evapotranspiración, permiten reducir el consumo eléctrico empleado en la refrigeración de los locales interiores entre un 20 y un 30%.

Si de los ahorros en energía final consumida se les descuenta la parte consumida en ventilación e impulsión de aire, se obtienen disminuciones notablemente mayores de las demandas térmicas del edificio (alrededor del 50% en verano).

Además, como se refleja en el propio estudio, no toda el área propuesta fue sustituida por cubierta vegetal, sino que parte de la zona donde se midieron consumos conservó la cubierta invertida de grava (aproximadamente un 14% del área propuesta inicialmente). Por ello, para poder extrapolar las conclusiones del nombrado trabajo, aproximadamente un 14% de la cubierta no será sustituida por cubierta vegetal, por lo que el *greenroof* ocupará únicamente 885 metros cuadrados (Figura 70).



Figura 70: Superficie ocupada por la cubierta vegetal propuesta

El tipo de cubierta vegetal y su composición se detalla en el Anexo 3 del documento.

El resto de espacio disponible en la cubierta (140 m<sup>2</sup>) será aprovechado para proyectar una instalación fotovoltaica como se especificará más adelante.

### **7.1.1.2 Iluminación**

En el caso estudiado, como ya se ha comentado anteriormente, el consumo energético de luz artificial es ya bastante reducido, debido a la gran cantidad de luz natural que recibe el interior del edificio gracias a la amplia proporción de superficie acristalada de la envolvente.

Además, las zonas comunes como pasillos y aseos ya cuentan con un sistema de automatización de la iluminación, de manera que las lámparas solo funcionan cuando se detecta movimiento y hay ausencia de luz natural exterior. De esta manera, se considera que la demanda de iluminación del edificio ya es suficientemente baja y no se proponen más medidas de eficiencia.

### **7.1.1.3 Equipos**

La demanda energética de los equipos electrónicos viene determinada, en su mayor parte, por el uso de los locales y las necesidades de los mismos, por lo que no se pueden proponer medidas que reduzcan notablemente esta demanda sin modificar los usos y actividades que se realizan en el edificio.

## **7.1.2 Reducción del consumo energético**

A continuación, una vez se han tomado medidas para reducir la demanda energética del edificio, se deberá centrar la atención en disminuir el consumo energético de energía primaria que es necesario para cubrir esa demanda.

Disminuir el consumo de energía de un edificio sin que empeoren las condiciones internas del mismo ni la calidad del ambiente, exige mejorar o cambiar los equipos y sistemas encargados de mantener estas condiciones internas de confort, de manera que consigan cumplir sus objetivos con un consumo menor. Es decir, habrá que mejorar la eficiencia del sistema de climatización, la iluminación y los equipos electrónicos.

### **7.1.2.1 Climatización**

El uso energético de más importancia en el edificio estudiado es el uso en refrigeración y calefacción de los locales. Por ello, una mejora en el sistema y los equipos que se encargan de aclimatar el edificio sería crucial para reducir la energía primaria consumida.

Sin embargo, el sistema de climatización mediante bombas de calor es ya un sistema considerablemente eficiente, con Coeficientes de Eficacia Energética aproximados de 2,6 para refrigeración y 3,1 para calefacción.

Además, a pesar de que no supone un ahorro energético, si se tienen en cuenta criterios medioambientales, la energía consumida por estos equipos, tanto al refrigerar como al calefactar, es energía eléctrica, a diferencia de otros sistemas también muy comunes, que utilizan productos petrolíferos o gas natural para producir el calor necesario para la calefacción y el ACS del edificio.

Esto, como reflejan la Figura 8 y la Figura 17 supone una procedencia más limpia, autóctona y renovable de la energía, ya que parte de esta electricidad es producida a partir de fuentes de energía renovable. Mientras que en el caso de las calderas de combustible convencionales, la energía es en su totalidad de procedencia no renovable.

A pesar, por tanto, de que no es necesario un cambio en los equipos de climatización, sí que se proponen una serie de mejoras aplicadas a los equipos existentes, para mejorar su rendimiento:

- Reguladores de velocidad en las unidades interiores de impulsión de aire:  
En las visitas al edificio se pudo comprobar la elevada velocidad del aire que era impulsado al interior de los locales climatizados. El aire, que es impulsado por las unidades internas del sistema de climatización y entra a los locales a través de los difusores, tenía una velocidad de entre 0,2 y 0,25 m/s. Tal como se muestra en la Figura 71, de acuerdo a las exigencias de bienestar e higiene recogidas en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios), la velocidad del aire dentro del local debe ser de entre 0,13 y 0,19 m/s.

#### Exigencias de bienestar e higiene (IT 1.1)

Temperatura operativa	Margen de temperatura operativa (°C)			Velocidad media máxima del aire (m/s)
	A	B	C	
16,0	± 1,5	± 3,5	± 5,0	0,09
17,0	± 1,5	± 3,0	± 4,5	0,10
18,0	± 1,5	± 3,0	± 4,5	0,11
19,0	± 1,5	± 3,0	± 4,0	0,12
20,0	± 1,0	± 2,5	± 3,5	0,13
21,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,14
21,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,15
22,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,15
22,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,16
23,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,16
23,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5	0,17
24,0	± 1,0	± 1,5	± 2,5	0,17
24,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	0,18
26,0	± 0,5	± 1,0	± 2,0	0,19

**Tabla 8:** Margen de temperatura operativa del local admisible en función de la calidad térmica del ambiente. Velocidad media máxima en la zona ocupada

**Figura 71:** Exigencias bienestar, velocidad máxima del aire  
Fuente: RITE

La alta velocidad a la que es impulsado el aire es debida a la ausencia de reguladores de velocidad en las unidades interiores y a un sobredimensionamiento de la instalación, es decir, la potencia a la que trabajan es constante y, por tanto, no se ajustan a las exigencias de los locales, sino que una vez se encienden, trabajan a velocidad y potencia fijas.

Por tanto, se propone la instalación de cuatro variador de frecuencia (Figura 72) que permitan regular la velocidad de los ventiladores de estas unidades interiores, de manera que se adapten a las exigencias de climatización de los locales, se reduzca la

extremadamente alta velocidad del aire interior de los locales, y se produzca un ahorro de la potencia consumida de estos equipos.

## Serie E2 IP20



### Optidrive Serie E2

**Características técnicas:**

- Modos de control: teclado, mando remoto o PID
- Protección IP20
- Filtro EMC integrado
- Modbus RTU integrado
- Configuración Digital con modo Fácil Ajuste
- Display Led que muestra Hz, A, RPM, m/min y otros...

Figura 72: Variador de frecuencia  
Fuente: Salvador Escoda

En concreto, se propone la instalación de variadores Salvador Escoda, Serie E2 IP20, Modelo ODE2-24400-3KA42-01 [14].

La potencia consumida por los ventiladores de las unidades interiores tiene una relación cúbica con la velocidad de los mismos, tal como muestra la Ecuación 2:

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \quad \text{Ecuación 2}$$

Por tanto, con un decremento aproximado de la velocidad de 0,22 a 0,17 m/s (lo que es igual a disminuir la velocidad del aire un 22%), se obtiene un ahorro de potencia del 54%.

El consumo de cada unidad interior, por tanto, que era de 2,83 kWh, pasa a ser de 1,3 kWh, además del consecuente aumento del confort dentro de los locales. Como el sistema cuenta con cuatro unidades interiores, la potencia de las mismas pasará de ser de 11,32 kW a 5,22 kW.

Para calcular el ahorro que esta medida produce anualmente, se debe estimar las horas de utilización del sistema de climatización. Debido a que este uso varía notablemente según el mes que se analice, se agrupan los meses en dos categorías:

- Meses con gran consumo en climatización: Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Junio, Julio y Agosto. Durante estos meses, a los que corresponden condiciones climáticas externas más extremas, se considera

un uso del sistema completo de climatización (los cuatro equipos) de 8 horas equivalentes diarias.

- Meses con reducido consumo en climatización: Marzo, Abril, Mayo, Septiembre y Octubre. Durante los meses con temperaturas más suaves, se considera un uso del sistema de climatización de 1 hora equivalente al día.

Para todos los meses, se cuentan únicamente los días laborables, de esta manera, los cuatro equipos de climatización funcionan, aproximadamente, 1255 horas equivalentes al año.

El ahorro conseguido es el mostrado en la Tabla 11:

	Actual	Variador de frecuencia	Ahorro	Variación (%)
Potencia (kW)	11,32	5,22	6,1	54%
Horas	1255	1255		
Consumo (kWh)	14206,6	6551,1	7655,5	54%

**Tabla 11: Ahorros del variador de frecuencia**

El porcentaje (54%) está referido únicamente al consumo de las unidades de impulsión actuales, el ahorro de esta medida respecto al consumo de climatización total (teniendo en cuenta las bombas de calor) es de, aproximadamente un 19%.

### **7.1.2.2 Iluminación**

Respecto a la iluminación del edificio, el objetivo es conseguir unas luminarias que cumplan con las exigencias de confort interior y satisfagan las condiciones de luminosidad de los locales, consumiendo menos energía eléctrica que las actuales. Por tanto, es necesaria una sustitución de estas luminarias por otras de mayor eficacia luminosa (relación entre el flujo luminoso en lúmenes y el consumo en vatios).

Las lámparas incandescentes y los módulos de tubos fluorescentes se sustituyen por lámparas LED (Figura 73), de mayor eficacia. Si consideramos una eficacia media del conjunto de lámparas actuales (entre los dos tipos mencionados) se obtiene un valor aproximado de 45 lúmenes por cada vatio. Las lámparas LED tienen una eficacia luminosa aproximada de 85 lúmenes por cada vatio eléctrico consumido [16]. Es decir, son un 89% más eficaces que la iluminación actual, de manera que se consigue iluminar los mismos espacios (mismo flujo luminoso) con un 47% menos de consumos energético.

En concreto se propone la instalación de lámparas OSRAM SubstiTUBE Basic de 1,2 metros de largo, 21 W de potencia y 2100 lúmenes de luminosidad [12].

### OSRAM SubstiTUBE® Basic



Figura 73: Lámpara LED  
Fuente: OSRAM

Se modifican las características de iluminación de los locales mediante el programa Calener, reduciendo la potencia instalada de 5 a 3 vatios por metro cuadrado y aumentando la eficacia de 45 a 85 lúmenes por vatio.

El consumo en iluminación que se estima ahora para el edificio es el siguiente (en valores anuales):

Energía final:	6323,7 kWh
Energía primaria:	16460,5 kWh
Emisiones CO <sub>2</sub> :	4104,1 kgCO <sub>2</sub>

Como muestra la Figura 74 se consigue un ahorro de la energía consumida en iluminación, además del comentado aumento de eficacia luminosa, y, por tanto, una mejor calificación energética en este apartado y del edificio en conjunto (pasando de B a A).

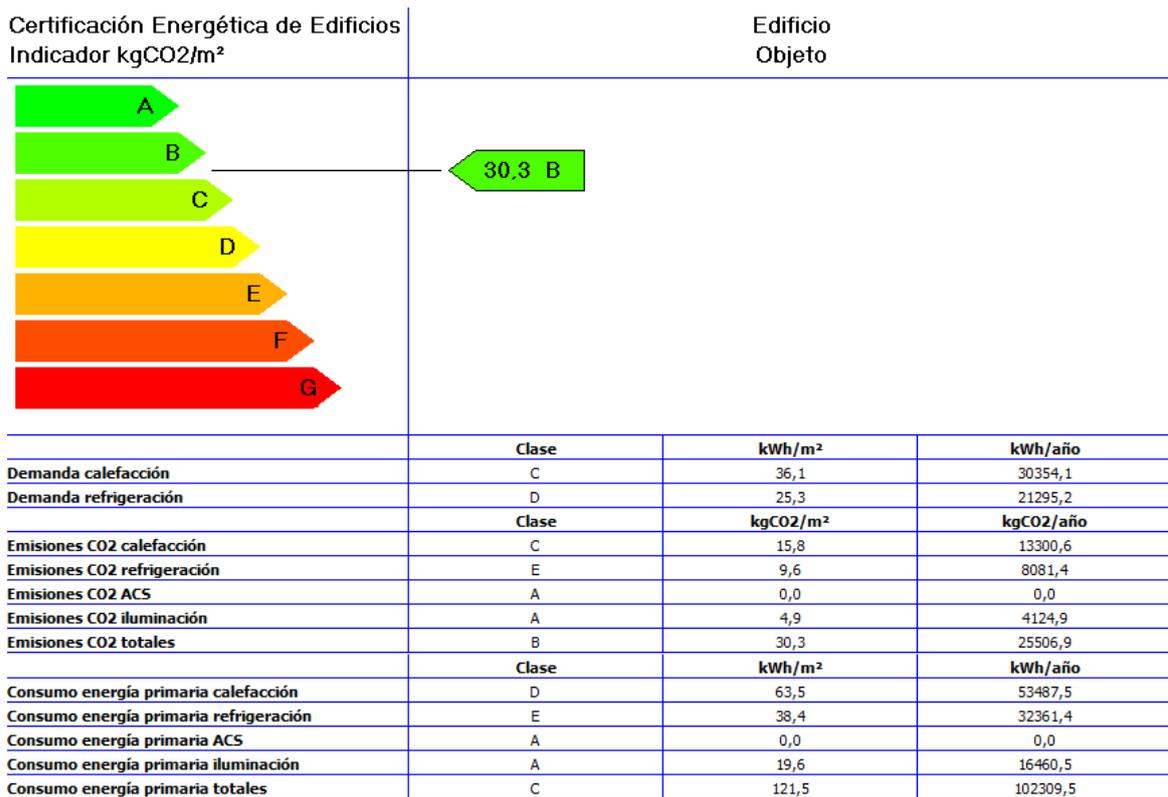


Figura 74: Resultados Calener tras la sustitución del sistema de iluminación

Además, se observa una modificación de las demandas de calefacción y refrigeración del edificio, debido al cambio en el sistema de iluminación, que, al ser más eficiente, disipa menos energía en forma de calor. Por tanto, se observa una ligera reducción en el consumo de refrigeración anual y un aumento en el consumo de calefacción.

En resumen, los cambios observados se resumen en la Tabla 12 (valores en kWh/m²·año):

	Edificio actual	Iluminación LED	Variación (%)
Demanda calefacción	34,3	36,1	5%
Demanda refrigeración	27,2	25,3	-7%
Consumo energía primaria iluminación	32,6	19,6	-40%
Consumo energía primaria total	134,8	121,5	-10%

Tabla 12: Variación de la implantación de lámparas LEDs

Por tanto, el balance general de la medida es positivo, ya que las emisiones de CO2 totales disminuyen de 28306,3 a 25486,1 kgCO2/año.

### 7.1.2.3 Equipos

Los equipos electrónicos suponen un consumo marginal respecto al total del edificio, es por eso que las posibles medidas de eficiencia energética en este campo no supondrían un ahorro considerable del total consumido.

Por ello, no se considera conveniente el cambio de estos equipos por unos más eficientes energéticamente, ya que supondría un coste económico excesivo para el ligero ahorro energético que se conseguiría. No obstante, en caso de que fuera necesario nuevos equipos electrónicos por aumento o cambios en el uso de los locales o por deterioro del equipo actual, sí que se debe tener en cuenta el criterio de eficiencia y ahorro energético a la hora de elegir los nuevos dispositivos.

### 7.1.2.4 Consumos stand-by

La potencia residual o stand-by del edificio, a partir de las facturas eléctricas analizadas, se estima en 1,32 kW. Si se consideran todas las horas del año en las que el edificio está vacío y no está siendo utilizado, es posible calcular el consumo energético que supone esta potencia residual, como se muestra en la Tabla 13.

Consumo residual del edificio				
	Días	Horas	Potencia (kW)	Consumo (kWh)
Días festivos	118	2832	1,32	3744,75
Días laborables	247	2964	1,32	3919,30
TOTAL	365	5796		7664,05

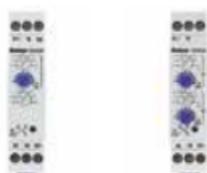
Tabla 13: Consumos residuales del edificio

Por tanto, aproximadamente, se consumen 7664,05 kWh anuales, en días festivos y en horario fuera del uso del edificio. Esta elevada cantidad de energía procede, en su mayor parte, del sistema de climatización, con consumos residuales aproximados de 1,2 kW, por lo que deberá ser el objetivo primordial en la reducción de estos consumos stand-by.

Tanto en el caso del sistema de climatización, como en el resto de equipos del edificio (ordenadores, impresoras, máquinas de café...) los gastos energéticos correspondientes a las horas de no utilización del edificio, pueden ser reducidos en gran parte sin necesidad de alterar la utilización de los sistemas, locales y equipos. Como ya se ha comentado, no están vinculados al aprovechamiento y al confort del edificio y, por tanto, su reducción no supone un empeoramiento de las condiciones internas ni del uso de los locales.

Para eliminar el consumo residual del sistema de climatización, se propone instalar un relé automático (Figura 75) al cuadro eléctrico que desconecte y conecte toda la corriente siguiendo un horario de uso del edificio. Este sistema permite automatizar la desconexión del sistema de climatización durante las horas en las que el edificio no está siendo utilizado (de 20:00 a 8:00) y vuelve a conectarla al entrar en el horario de uso, de manera que los equipos permanezcan en estado stand-by hasta que sean utilizados.

## Relé temporizador



- Relé temporizador electrónico
- De uso universal para el control de procesos automáticos en máquinas, sistemas de iluminación, sistemas de ventilación, calefacciones, armarios, etc.
- Configuración analógica y precisa del tiempo
- Entrada de tensión múltiple para todas las tensiones de alimentación y de control, no se requiere ningún puente ni bornas adicionales

- LED para la indicación del estado de la conexión

Figura 75: Relé temporizador

Fuente: Theben

Mediante esta medida se estima un ahorro casi completo de los 1,2 kW de potencia de stand-by que supone el sistema de climatización. Teniendo en cuenta las horas al año que el edificio se encuentra vacío, Tabla 13, esto supondría un ahorro anual de 6955 kWh, o lo que es lo mismo, 6,78 kWh/m<sup>2</sup>. Este valor, en energía final consumida, se puede pasar a energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante los factores usados en el programa CalenerVYP.

En resumen, la desconexión de los sistemas de climatización durante las horas en las que el edificio no está en funcionamiento supone los siguientes ahorros (Tabla 14):

	Edificio actual	Desconexión clima	Variación (%)
Energía final clima (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	39,3	32,52	<b>-17%</b>
Energía primaria clima (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	102,1	84,552	<b>-17%</b>
Emisiones CO <sub>2</sub> clima (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año)	25,5	20,98064516	<b>-18%</b>

Tabla 14: Ahorros al eliminar los consumos residuales del sistema de climatización

Se propone, por tanto, la instalación de 4 relés temporizadores (uno para cada zona climatizada) de la marca Theben, modelo TM 345 M [13].

Respecto a los equipos, el consumo en este aspecto es muy reducido. Aproximadamente, los 0,13 kW aproximados de consumos stand-by del total de los dispositivos, suponen 753,48 kWh anuales, que aunque no es una cifra despreciable, es considerablemente menor que otro tipo de consumos.

No obstante esto, se considera la posibilidad de desconectar la corriente eléctrica mediante interruptores en los locales donde existe una mayor cantidad de equipos eléctricos, como ordenadores o impresoras.

Dependiendo de la cantidad de dispositivos y regletas que se desconecten de esta manera, se producirá un ahorro energético mayor o menor. En la Tabla 15 se analizan estos posibles ahorros energéticos, dependiendo del porcentaje de equipos que se desconecten de la luz de manera automatizada.

Equipos desconectados (%)	Ahorro potencia stand-by (kW)	Ahorro energético (kWh)
0%	0	0,00
25%	0,0325	188,37
50%	0,065	376,74

75%	0,0975	565,11
100%	0,13	753,48

**Tabla 15: Ahorros al reducir los consumos residuales de los equipos**

De esta manera, si se automatiza el apagado del 50% o 75% de los equipos electrónicos del edificio (opciones más viables), se consiguen ahorros anuales de 376,74 y 565,71 kWh respectivamente. Estos valores son notablemente inferiores a los conseguidos mediante la desconexión del sistema de climatización, por lo que se considera que la desconexión de los equipos es una medida secundaria y no principal en el ahorro de energía.

### 7.1.3 Resultados obtenidos mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética

Como consecuencia de la aplicación de las medidas anteriormente comentadas de reducción de demanda y consumo energético, los consumos de energía primaria estimados para el edificio son los mostrados en la Figura (valores en kWh/m<sup>2</sup>·año):

Debido a que algunas medidas modifican ciertos consumos y, por tanto, los ahorros que producirían otras medidas, se considera que las mejoras de eficiencia energética se realizan en el orden recogido en la Tabla 16, y los ahorros están calculados de acuerdo a este orden (todos los valores están en kWh/m<sup>2</sup>·año).

	Edificio actual	Sustitución iluminación	Desconexión clima	Reguladores de frecuencia	Cubierta vegetal	<b>FINAL conseguido</b>	Objetivo NZEB
Demanda calefacción	34,30	36,10	36,10	36,10	39,71	<b>53,63</b>	69,00
Demanda refrigeración	27,30	25,30	25,30	25,30	13,92		
Consumo energía primaria	134,80	121,50	103,87	84,45	74,72	<b>74,72</b>	85,80

**Tabla 16: Resultados finales de las medidas de eficiencia**

Debido a la dificultad que supone un análisis del ahorro mensual que supone la cubierta vegetal, se ha considerado una reducción del 15% en la energía final total dedicada a climatización una vez se han aplicado el resto de mejoras, de manera que se consigue una estimación conservadora pero que cumple con los requisitos propuestos.

## 7.2 Aplicación de Renovables

Por último, de acuerdo a los requerimientos del Edificio de Consumo Casi Nulo, se debe cubrir el 30% de la energía primaria consumida en el edificio con energía procedente de fuentes renovables instaladas en el propio edificio o en un recinto cercano.

La fuente de energía renovable escogida para el edificio de Benaguacil es la solar fotovoltaica, debido, principalmente, a las siguientes características del edificio:

- Espacio sobrante en la cubierta del edificio.
- La cubierta no tiene sombras cercanas y recibe una gran cantidad de radiación diaria.
- El clima en el que se sitúa se caracteriza por radiaciones elevadas y pocos días lluviosos o nublados.
- Toda la demanda del edificio es eléctrica, no se consumen otros combustibles.

Por tanto, el 30% de la energía final del edificio, una vez aplicadas las medidas de eficiencia propuestas, debe ser producida mediante energía solar fotovoltaica, esto supone 8837,08 kWh anuales.

Para estimar la superficie y cantidad de placas solares que se deben instalar, se tendrá que conocer, en primer lugar, la cantidad de radiación que incide anualmente en la cubierta del edificio. A partir de esta radiación incidente y de rendimientos estimados para los paneles solares, se obtendrá la superficie correspondiente necesaria y las placas que se deberán instalar.

Para obtener datos de radiación incidente, utilizamos el software online PVGIS. Este programa, a partir de la localización aproximada, el tipo de paneles usados, la potencia instalada, las pérdidas estimadas en los mismos y su posición e inclinación, estima la radiación solar incidente en los paneles propuestos y la energía eléctrica que se produciría.

En el caso del presente trabajo, se implementan los siguientes datos:

- Localización: Benaguacil (Valencia)
- Tecnología: Silicio cristalino
- Pérdidas estimadas: 14%
- Posición de montaje: integradas en el edificio
- Ángulo: a optimizar
- Azimut: a optimizar

A partir de estos datos y los resultados correspondientes, estimamos la potencia instalada necesaria para obtener la energía anual requerida.

Debido a que se trata de una estimación de las características de los paneles reales y la localización real de los mismos, se escoge unos resultados conservadores, de manera que sea seguro que se cubre el porcentaje de electricidad requerido.

La potencia pico escogida, por tanto, son 8 kW, la cual da los resultados mostrados en la Figura 76.

- Pérdidas por temperaturas y bajas irradiancias: 15,5%
- Pérdidas angulares: 2,5%
- Otras pérdidas (cables, inversor...): 14%
- Perdidas combinadas totales: 29,1%

Fixed system: inclination=36°, orientation=-1° (optimum)				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	24.70	765	4.10	127
Feb	29.40	825	5.00	140
Mar	34.80	1080	6.06	188
Apr	34.40	1030	6.10	183
May	35.80	1110	6.45	200
Jun	37.50	1120	6.85	205
Jul	38.40	1190	7.09	220
Aug	36.50	1130	6.73	209
Sep	33.10	992	5.99	180
Oct	29.70	922	5.29	164
Nov	25.70	772	4.38	131
Dec	22.40	695	3.70	115
<b>Yearly average</b>	<b>31.9</b>	<b>970</b>	<b>5.65</b>	<b>172</b>
<b>Total for year</b>		<b>11600</b>		<b>2060</b>

Figura 76: Irradiancia recibida y electricidad producida por el sistema fotovoltaico  
Fuente: PVGIS

$E_d$ : electricidad producida diariamente por el sistema dado (kWh)

$E_m$ : electricidad producida mensualmente por el sistema dado (kWh)

$H_d$ : irradiancia recibida diariamente por metro cuadrado en los módulos propuestos (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : irradiancia recibida mensualmente por metro cuadrado en los módulos propuestos (kWh/m<sup>2</sup>)

Los paneles escogidos son paneles monocristalinos SOLARWORLD de 245 W de potencia máxima y dimensiones 1675x1001x34 [15]. De manera que se tendrán que colocar 32 paneles fotovoltaicos (4 filas de 8 paneles cada una).

Los paneles estarán orientados al Sur (la orientación óptima calculada es -1°), y no se considera el efecto de sombras de otros edificios o muros debido a la ausencia de las mismas como se ha reflejado en la descripción del edificio.

La separación entre los paneles será la calculada a partir de la

Ecuación 3, obtenida a partir de diversos libros de fotovoltaica [11].

$$d = \frac{h}{\text{tg}(61 - \text{latitud})}$$

Ecuación 3

La proyección vertical del panel (h) se calculará a partir de su longitud y el ángulo de inclinación óptimo calculado mediante el PVGIS, de acuerdo a la Figura 77:

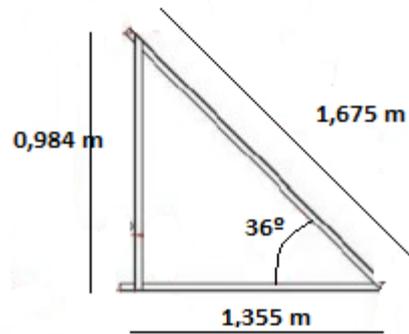


Figura 77: Medidas de los paneles fotovoltaicos  
Fuente: Solarworld

Por tanto,

$$d = \frac{h}{\text{tg}(61 - \text{latitud})} = \frac{0,984}{\text{tg}(61 - 39,591)} = 2,51\text{m}$$

El área ocupada por los paneles fotovoltaicos en la cubierta del edificio será de 103,35 m<sup>2</sup>, según la representación mostrada en la Figura 78.

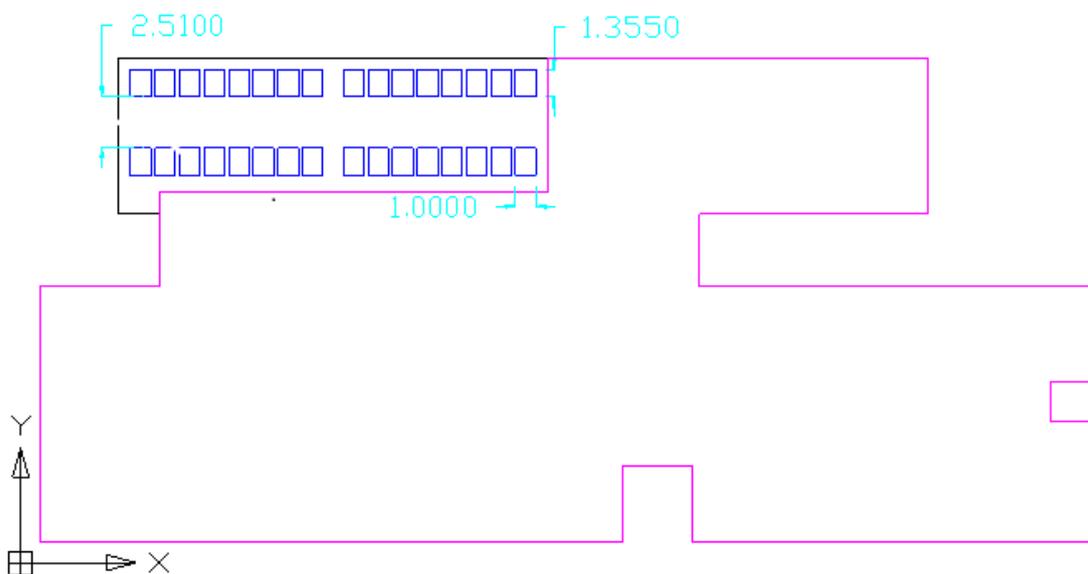


Figura 78: Superficie ocupada por la instalación fotovoltaica

En el caso estudiado no se propone la instalación de baterías para almacenar la electricidad producida ya que encarecerían notablemente el proyecto. Por el contrario, cuando la electricidad

generada en las placas fotovoltaicas sea mayor que la demandada por los sistemas del edificio, la electricidad sobrante será vertida a la red (entregada a red eléctrica a precio cero).

A pesar de esto, como ya se ha observado con la obtención de las curvas de potencia diaria del edificio, las principales horas de consumo del edificio coinciden con las horas centrales del día, es decir, de mayor radiación solar. Sin embargo, a falta de un análisis más exhaustivo y elaborado a este respecto, se considera que vertiendo a la red la energía sobrante, se cumple el balance deseado, ya que la energía producida y vertida de esta manera es energía procedente de fuentes renovables (aunque no sea utilizada en el propio edificio) y, por tanto, compensa (en términos energéticos) la energía consumida por el edificio procedente de otras fuentes.

Se espera que con un posible cambio en la legislación correspondiente se permita la venta de esta energía sobrante de las instalaciones de autoconsumo a la red eléctrica, de manera que, además de cumplirse el balance energético, se permita mejorar la rentabilidad económica del proyecto.

En el análisis económico que se realiza a continuación sí que se tendrán en cuenta otros elementos de la instalación como son:

- Inversor a red: situado en el espacio entre la fachada sur del edificio y los muros que delimitan el recinto.
- Estructuras y soportes
- Cableado

Los modelos escogidos se recogen en el Anexo 1.



## 8. PRESUPUESTO

Por último, se incluye en este trabajo un análisis económico aproximado de la realización y proyección del mismo y de la implantación de las diferentes medidas y soluciones que en él se proponen. En el presupuesto se tiene en cuenta, por tanto, los siguientes conceptos:

- Realización del trabajo.
- Cambio iluminación LEDs.
- Desconexión automática mediante relés.
- Variador de frecuencia climatización.
- Cubierta vegetal.
- Instalación fotovoltaica.
- Costes totales.
- Ahorros económicos.
- Balance económico.

Para las diferentes medidas de eficiencia se han considerado los costes de los materiales y dispositivos a instalar, además del coste de la mano de obra necesaria para su instalación y puesta en marcha. No se han considerado, sin embargo, costes de mantenimiento ya que se considera que son despreciables o similares a los existentes actualmente.

En el caso de las placas fotovoltaicas sí que se han considerado costes de mantenimiento, que se tendrán en cuenta a la hora de realizar el balance económico y el cálculo del tiempo de retorno de la instalación.

### 8.1 Realización del Trabajo

El precio de realización del presente trabajo (Tabla 17) se estima en función de las horas estipuladas de realización del TFG (300 horas), y a un coste horario aproximado de 25€ la hora de trabajo. A este coste hay que sumarle el precio de la gasolina necesaria para las dos visitas al edificio, 30 kilómetros de ida, a un coste aproximado de 0,16 €/km.

Horas de trabajo (h)	Coste horario (€/h)	Coste ingeniero (€)	Gasolina	Coste total
300	25	7500	19,2	<b>7519,2</b>

Tabla 17: Coste de realización del trabajo

## 8.2 Cambio Iluminación LEDs

El coste de la medida de eficiencia (Tabla 18) se compone del precio de los materiales y dispositivos a instalar y de la mano de obra necesaria para instalar los mismos.

Por tanto, a partir de catálogos (12) y de presupuestos aproximados se obtiene el siguiente coste para el cambio del sistema de iluminación por lámparas LED:

	Lámparas	Instalación	TOTAL
Coste unitario	35,5	15	
Unidades	150 lámparas	100 horas	
Coste (€)	5325	1500	<b>6825</b>

Tabla 18: Coste de la sustitución del sistema de iluminación

Fuente: Osram

El número de lámparas LED se ha obtenido a partir de la potencia final consumida en iluminación estimada mediante el CalenerVYP y la potencia de cada módulo, tal y como se indica en la Tabla 19:

Energía final (kWh)	Potencia módulo (W)	Horas laborables	LEDs instalados
9218,2	21	2964	148,0978086

Tabla 19: Cantidad de lámparas LEDs instaladas

## 8.3 Desconexión Automática Mediante Relé Automático

Siguiendo el mismo procedimiento que para el cálculo de la sustitución de las lámparas, para obtener el coste de aplicar la medida de eficiencia relacionada con los consumos residuales del sistema de climatización (Tabla 20), se considerará de manera separada el precio de los dispositivos (13) y el precio de realizar la instalación.

	Relé	Instalación	TOTAL
Coste unitario	144,5	20	
Unidades	1 relé	4 horas	
Coste (€)	144,5	80	<b>224,5</b>

Tabla 20: Coste de la instalación del relé automático

Fuente: Theben

## 8.4 Variadores de Frecuencia del Sistema de Climatización

Los costes de los dispositivos y la instalación de los variadores de frecuencia en las unidades interiores del sistema de climatización son los mostrados en la Tabla 21:

	Variador de frecuencia	Instalación	TOTAL
Coste unitario	499	20	
Unidades	4 variadores	8 horas	
Coste (€)	1996	160	<b>2156</b>

**Tabla 21: Coste de los variadores de frecuencia de las unidades interiores**  
Fuente: Salvador Escoda

## 8.5 Cubierta Vegetal

Los datos correspondientes al coste económico de este tipo de cubiertas se estiman a partir del estudio ya anteriormente nombrado realizado en un sector del propio edificio de Benaguacil [17].

A partir de los costes unitarios (por metro cuadrado) y los costes fijos del proyecto, se estima el coste de la cubierta vegetal en el área propuesta (885 m<sup>2</sup>), tal y como se refleja en la Tabla 22.

Las capas del *greenroof* propuesto, similar al instalado para la realización del nombrado estudio, se detallan en el Anexo 3.

	Capas greenroof	Sistema riego	Otros	TOTAL
Coste unitario	67,39	1396	541	
Unidades	884 m <sup>2</sup>	1	1	
Coste(€)	59572,76	1396	541	<b>61509,76</b>

**Tabla 22: Coste de la cubierta vegetal**  
Fuente: E2STORMED

## 8.6 Instalación Fotovoltaica

La Tabla 23 recoge un presupuesto aproximado de la instalación fotovoltaica. Éste ha sido obtenido a partir de la observación en catálogos [15] de los diferentes aparatos necesarios y de la estimación de los costes de instalación de los mismos.

	Paneles	Soportes	Inversor	Cableado y otros	Instalación	TOTAL
Coste unitario	336	191	306	100	25	
Unidades	32	16	1	1	120 horas	
Coste (€)	10752	3056	306	100	3000	<b>17214</b>

**Tabla 23: Coste de la instalación fotovoltaica**  
Fuente: Solarworld

## 8.7 Costes Totales

El coste total de la realización de lo proyectado, recogido en la Tabla 24, se compone, por tanto, de la suma de los costes de las diferentes propuestas analizadas, a las que se añade el I.V.A. correspondiente.

	Proyecto	Cambio LEDs	Relé automático	Variadores de frecuencia	Cubierta vegetal	Instalación fotovoltaica	TOTAL
Coste (€)	7519,20	6825,00	224,50	2156,00	61509,76	17214,00	95448,46
I.V.A.	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	
<b>TOTAL</b>	<b>9098,23</b>	<b>8258,25</b>	<b>271,65</b>	<b>2608,76</b>	<b>74426,81</b>	<b>20828,94</b>	<b>115492,64</b>

Tabla 24: Costes totales

## 8.8 Ahorros Económicos

Tanto las medidas de eficiencia propuestas como la instalación de paneles fotovoltaicos producirán un ahorro de electricidad demandada a la red que se traducirá en ahorro económico.

Para calcular este ahorro, se ha estimado el precio de la electricidad a partir de las facturas eléctricas del año 2014 del edificio de Benaguacil. Con el objetivo de hacer una aproximación más cercana, se han agrupado los precios de la electricidad según el periodo al que pertenecen (valle, llano o punta) y se ha considerado que el promedio anual está compuesto únicamente de los precios a horas llano y punta ya que a horas valle el consumo es despreciable. La Tabla 25 muestra los valores promedio que se utilizarán a continuación para estimar los ahorros de las diferentes medidas.

	Energía (€/kWh)		
	Punta	Llano	Valle
	0,1621	0,1195	0,0725
	0,1621	0,1195	0,0725
	0,1626	0,1199	0,0727
	0,1626	0,1199	0,0727
	0,1250	0,1160	0,0633
	0,1250	0,1160	0,0633
	0,1250	0,1160	0,0633
	0,1250	0,1160	0,0633
	0,1277	0,1179	0,0652
	0,1277	0,1179	0,0652
	0,1277	0,1179	0,0652
	0,1277	0,1179	0,0652
Promedio	0,1366	0,1177	0,0666
<b>Promedio anual</b>	<b>0,1272</b>		

Tabla 25: Precio estimado de la energía  
Fuente: Iberdrola

La Tabla 26 muestra los ahorros económicos de las medidas analizadas. Como ya se ha comentado, han sido obtenidos a partir de los ahorros energéticos de la Tabla 16 y de los precios de la energía de la Tabla 25.

	Edificio actual	FINAL	Ahorro
Energía primaria (kWh/m2)	134,80	74,72	60,08
Energía final (kWh/m2)	51,85	28,74	23,11
Energía final (kWh)	53090,46	29429,05	23661,41
Precio energía (€/kWh)	0,13	0,13	0,13
Coste económico (€)	6751,67	3742,58	<b>3009,09</b>

Tabla 26: Ahorro económico de las medidas propuestas

## 8.9 Balance Económico

Por último, en la Tabla 27 se muestra el tiempo de retorno de cada una de las medidas de eficiencia propuestas.

Además, en el caso de la instalación fotovoltaica, por motivos anteriormente comentados, se considera que, al menos, un 80% de la electricidad producida será consumida en el propio edificio. De manera que a partir de esa energía autoabastecida se puede calcular igualmente un tiempo de retorno de la instalación.

Por otra parte, se considera un coste de mantenimiento para la instalación de placas fotovoltaicas. Este coste anual reduce el ahorro producido por esta instalación y se estima, a partir de diversas fuentes [18] en 200€ anuales.

	Iluminación	Relé	Variadores	Greenroof	Fotovoltaica
Coste (€)	8258,25	271,65	2608,76	74426,81	20828,94
Ahorro anual (€/año)	666,15	882,93	972,62	487,39	980,17
Tiempo retorno (año)	12,40	0,31	2,68	152,70	21,25

Tabla 27: Tiempo de retorno de las diferentes medidas

Por tanto, la mayor parte de las medidas propuestas tienen un tiempo de retorno aceptable, exceptuando la cubierta vegetal. Algunas de ellas, como los variadores de frecuencia para el sistema de climatización y los relés automáticos que evitan los consumos residuales durante horas en las que no se utiliza el edificio, tienen tiempos de retornos extraordinariamente buenos.

Se debe tener en cuenta que el efecto de la cubierta vegetal sería mayor si fuera la única medida propuesta, por tanto, tendría un tiempo de retorno de la inversión mucho menor. Sin embargo, al aplicarse los porcentajes de ahorro a una demanda ya notablemente reducida, la reducción de consumo que se consigue es menor y, por tanto, aumenta el tiempo de retorno.

Además, este tipo de cubiertas suponen una serie de efectos positivos no reflejados en este trabajo, ya que no intervienen en los requisitos propuestos para la transformación en un NZEB, pero que, sin embargo, deberían tenerse en cuenta a la hora de evaluar e incentivar este tipo de medidas. Estos efectos incluyen:

- Ahorro en el ciclo del agua
- Aislamiento sonoro del edificio
- Reducción del riesgo de inundaciones o problemas causados por el agua
- Efecto visual positivo
- Consumo de CO<sub>2</sub>

## 9. CONCLUSIONES

Los diversos problemas energéticos a los que se enfrentan los países miembros de la Unión Europea, entre los que se encuentra España, urgen a realizar una serie de planes de actuación conjunta y medidas de notable urgencia con el objetivo de reducir la contaminación, el efecto de cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales y la dependencia energética del exterior.

Como ya se ha analizado, aproximadamente un 40% del consumo de energía primaria de la UE pertenece al sector de la edificación. Es por ello, que a partir de la Directiva Europea 2010/31/UE se define el concepto de Edificio de Consumo Casi Nulo y se proponen una serie de medidas y objetivos graduales para conseguir reducir de manera sustancial el consumo energético de los edificios y aumentar el peso de las energías renovables en este consumo.

Sin embargo, como se ha comentado en el presente trabajo, el desarrollo de definiciones, planes y objetivos es desigual entre los diferentes países europeos. De manera que el retraso de algunos países a la hora de desarrollar normativa y leyes respecto a estos conceptos, conllevan un retraso en la consecución de estos objetivos intermedios que se buscan y, presumiblemente, una demora en la transformación del parque edificatorio actual a otro más sostenible y eficiente.

Una vez centrados en el caso concreto del edificio analizado en este trabajo (situado en la Comunidad Valenciana), se ha realizado la certificación energética del mismo mediante el programa CalenerVYP.

Se ha obtenido una calificación C del edificio, en concreto un valor de emisiones anuales de 33,6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. En términos de energía primaria, el edificio tiene un consumo anual de 134,8 kWh/m<sup>2</sup>. Por tanto, para alcanzar los requisitos propuestos de un NZEB se necesita una reducción de 38% de este consumo, además de un aporte de renovables del 30%.

A continuación, con el propósito de proponer y analizar distintas medidas de eficiencia e instalación de renovables que permitan conseguir esas reducciones, se ha estimado el perfil horario de demanda de electricidad, en días laborables y festivos, en base a información de los sistemas del edificio, facturas eléctricas, visitas, datos meteorológicos, información sobre los horarios de uso y datos experimentales de consumos en climatización.

De este análisis, se proponen medidas de eficiencia que afectan a diversos usos y consumos del edificio:

- Sistema de climatización:
  - cubierta vegetal que reduce la demanda energética de refrigeración.
  - instalación de variadores de frecuencia que regulen la velocidad de impulsión de aire de las unidades interiores del sistema.
- Iluminación: se plantea la sustitución de las lámparas existentes (incandescentes y tubos fluorescentes) por lámparas LED de menor potencia y mayor eficacia luminosa.

- Consumos stand-by: se propone la desconexión de los equipos del sistema de climatización debido al alto consumo registrado durante horas nocturnas, días festivos y fines de semana.

Finalmente, con la aplicación de todas estas medidas propuestas, se consigue un ahorro en la energía primaria consumida en el edificio del 45%, desde los 134,8 originales hasta los 74,72 kWh/m<sup>2</sup> · año.

Además, para conseguir que el 30% de la energía final consumida en el edificio sea cubierta por una fuente renovable en el propio recinto, se propone instalar placas fotovoltaicas en la cubierta del edificio (8 kW de potencia pico).

Como se ha podido ver tras el análisis económico de las medidas, hay reformas, como la instalación del relé o los reguladores de velocidad, que reducen notablemente el consumo de los sistemas y suponen una pequeña inversión económica que es recuperada muy pronto debido al ahorro económico que supone la energía no consumida.

La sustitución de las lámparas por lámparas LED, a pesar de suponer una inversión mayor, también supone grandes ahorros energéticos, necesarios para alcanzar los objetivos propuestos, y con los que se consigue recuperar la inversión inicial en, aproximadamente, 13 años.

La cubierta vegetal, sin embargo, supone una inversión económica muy elevada, respecto al ahorro energético que produce. Por ello, teniendo en cuenta únicamente criterios económicos, no sería una medida conveniente de implantar. Sin embargo, teniendo en cuenta criterios energéticos y medioambientales, sí que se justifica su implantación, debido a gran cantidad de ventajas medioambientales, que no han sido analizadas en profundidad ya que no se incluyen en los requisitos de los NZEB pero que sería conveniente tener en cuenta a la hora de evaluar su efecto.

Por tanto, se concluye que, a pesar de la falta de normativa y definiciones concretas con respecto a los Edificios de Consumo Casi Nulo, los objetivos propuestos, que se aproximan al concepto de NZEB, son objetivos tecnológica y económicamente viables y constituyen un escenario futuro a corto y medio plazo que será necesario alcanzar si se busca solucionar los problemas económicos y ambientales actuales.

## 10. REFERENCIAS

- 1 EUROSTAT. <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- 2 Ministerio de Fomento. Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España.
- 3 Plan de actuación de la unión europea en pro de la seguridad y la solidaridad en el sector de la energía Comisión de las comunidades europeas. Bruselas. 13.11.2008
- 4 Secretaría de Estado de Energía. La energía en España. 2012.
- 5 Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Eurostat. IDAE. 2011.
- 6 Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. Dirección General del Catastro. (Septiembre 2013).
- 7 Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Directiva EPBD 2010/31/UE.
- 8 Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos. [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Cond\\_acept\\_a\\_nexos.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Cond_acept_a_nexos.pdf)
- 9 [www.electrocalculator.com](http://www.electrocalculator.com)
- 10 [www.ocu.org/vivienda-y-energia/nc/calculadora/consumo-en-stand-by](http://www.ocu.org/vivienda-y-energia/nc/calculadora/consumo-en-stand-by)
- 11 Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers. Fotovoltaica para profesionales. Editorial: Solarpraxis. 2006.
- 12 Luz de Osram. Lista de precios Marzo 2015. <http://www.osram.es/media/resource/HIRES/554682/price-list-spain-gi-march-2015.pdf>
- 13 Catálogo Theben. Lista de precios 2014. [http://www.guijarrohermanos.es/archivos/TH\\_Tarifa\\_PVP\\_2014.pdf](http://www.guijarrohermanos.es/archivos/TH_Tarifa_PVP_2014.pdf)
- 14 Salvador Escoda. Tarifa de precios. Accesorios ventilación. [http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Accesorios\\_Ventilacion\\_Tarifa\\_PVP\\_SalvadorEscoda.pdf](http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Accesorios_Ventilacion_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf)
- 15 Jhroerden. Energía solar. Lista de precios12/3.2. <http://www.jhroerden.com/solar/descargas/lista%20de%20precios.pdf>
- 16 [https://es.wikipedia.org/wiki/Eficacia\\_luminosa](https://es.wikipedia.org/wiki/Eficacia_luminosa)
- 17 E2STORMED (elaboración propia del IIE.UPV)
- 18 Fernando Blanco Silva y Alfonso López Díaz. Estudio de viabilidad de una instalación fotovoltaica. Universidad Santiago de Compostela. Universidad Católica de Ávila. 2009.



# ANEXO 1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Y DISPOSITIVOS.

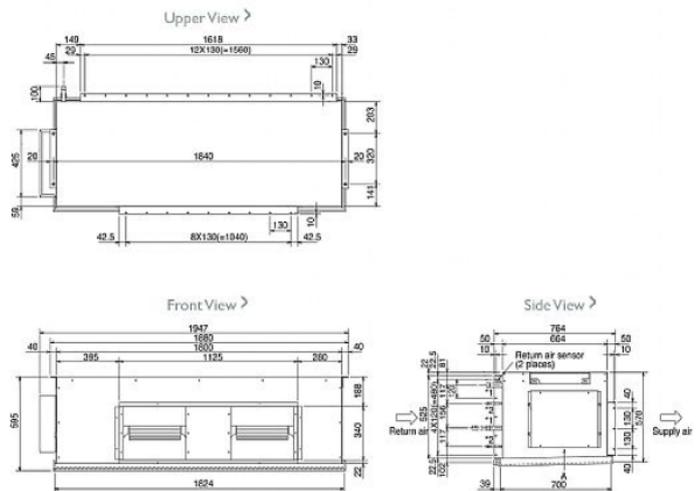
Unidades interiores y exteriores del sistema de climatización:

## Product Details

PEA-RP500GAQ Indoor Unit	
Capacity (kW):	
Heating (Nominal) (Low - High)	54.00 (25.00 - 63.00)
Cooling (Nominal) (Low - High)	44.00 (22.40 - 56.00)
Heating (UK) (Low - High)	45.90 (21.25 - 53.55)
Cooling (UK) (Low - High)	40.50 (20.60 - 51.50)
SHF R410A (Nominal)	0.77
COP / EER (Nominal)	3.1 / 2.53
Energy Label Heating / Cooling	D / E
Width - mm	1947
Depth - mm	764
Height - mm	595
Weight - kg	133
Airflow (m3/min)	160
External Static Pressure Pa	150
Noise (dBA)	53
Pipe Size Gas mm (in)	28.58 (1 1/8)
Pipe Size Liquid mm (in)	12.7 (1/2)
Electrical Supply	380-415v, 50Hz
Phase	3
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	10
Interconnecting Cable No. Cores	3

## Dimensions

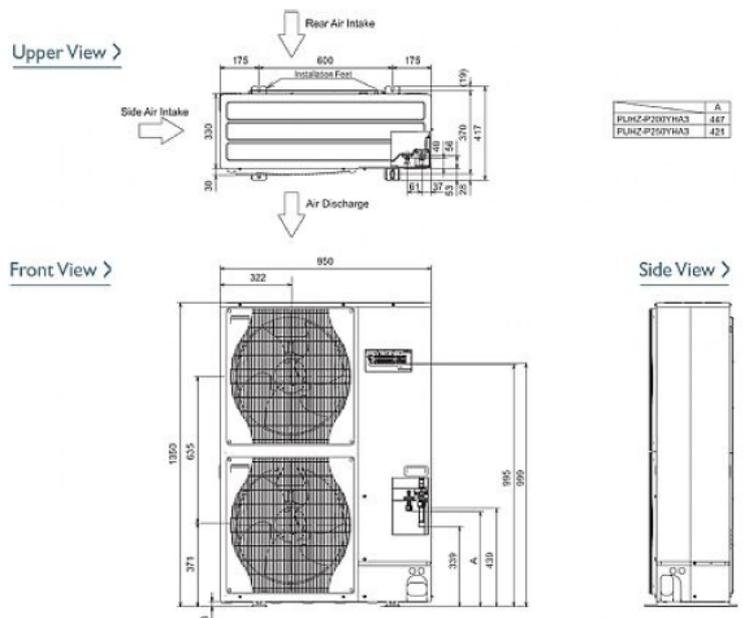
PEA-RP500GAQ



## PUHZ-P250YHA3 Outdoor Unit

Width - mm	950
Depth - mm	330+30
Height - mm	1350
Weight - kg	135
Noise (dBA) (Heating /Cooling) - Lo-Hi	59 /56-59
Electrical Supply	380-415V, 50Hz
Phase	3
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	25
SystemPower Input (kW) - Heating (Nominal)	17.42
SystemPower Input (kW) - Cooling (Nominal)	17.36
SystemPower Input (kW) - Heating (UK)	15.5
SystemPower Input (kW) - Cooling (UK)	14.76
Starting Current (A)	5
SystemRunning Current (A) - Heating / Cooling	12 / 11
Mains Cable No. Cores	5
Max Pipe Length (m)	70
Max Height Difference (m)	30
Charge (kg) - m	7.1

PUHZ-P250YHA3

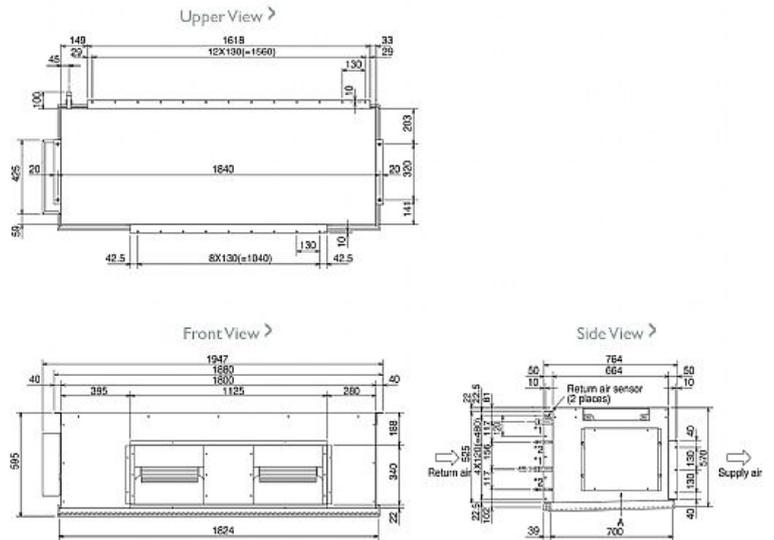


## Product Details

PEA-RP400GAQ Indoor Unit	
Capacity (kW):	
Heating (Nominal) (Low - High)	44.80 (19.00 - 50.00)
Cooling (Nominal) (Low - High)	38.00 (18.00 - 44.80)
Heating (UK) (Low - High)	38.10 (16.15 - 42.50)
Cooling (UK) (Low - High)	34.95 (16.55 - 41.20)
SHF R410A (Nominal)	0.75
COP / EER (Nominal)	3.14 / 2.72
Energy Label Heating / Cooling	D / D
Width - mm	1947
Depth - mm	764
Height - mm	595
Weight - kg	130
Airflow (m3/min)	120
External Static Pressure Pa	150
Noise (dBA)	52
Pipe Size Gas mm (in)	28.58 (1 1/8)
Pipe Size Liquid mm (in)	9.52 (3/8)
Electrical Supply	380-415v, 50Hz
Phase	3
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	10
Interconnecting Cable No. Cores	3

## Dimensions

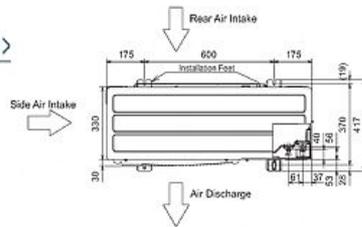
### PEA-RP400GAQ



PUHZ-P200YHA3 Outdoor Unit	
Width - mm	950
Depth - mm	330+30
Height - mm	1350
Weight - kg	126
Noise (dBA) (Heating /Cooling) - Lo-Hi	59 /56-59
Electrical Supply	380-415v, 50Hz
Phase	3
Fuse Rating (BS88) - HRC (A)	20
SystemPower Input (kW) - Heating (Nominal)	14.27
SystemPower Input (kW) - Cooling (Nominal)	13.97
SystemPower Input (kW) - Heating (UK)	12.7
SystemPower Input (kW) - Cooling (UK)	11.88
Starting Current (A)	5
SystemRunning Current (A) - Heating / Cooling	9.88 / 9.47
Mains Cable No. Cores	5
Max Pipe Length (m)	70
Max Height Difference (m)	30
Charge (kg) - 30m	5.8

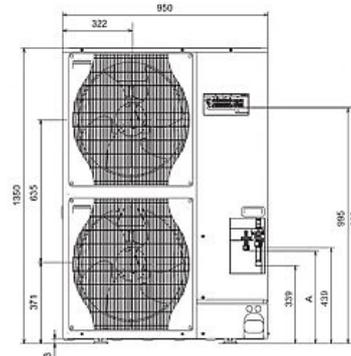
### PUHZ-P200YHA3

#### Upper View >



	A
PUHZ-P200YHA3	447
PUHZ-P200YHA3	421

#### Front View >



#### Side View >



## Serie SPEZ

MODELO	SPEZ-400YHA		SPEZ-500YHA	
UNIDAD EXTERIOR	PUHZ-P200YHA x 2		PUHZ-P250YHA x 2	
<b>Función</b>	<b>FRÍO</b>	<b>CALOR</b>	<b>FRÍO</b>	<b>CALOR</b>
<b>Capacidad</b> kW	38,0 (18.0-44.8)	44,8 (18.0-50.0)	44,0 (22.4-56.0)	54,0 (25.0-63.0)
kCal/h	32.680	38.528	37.840	46.440
<b>Consumo Total</b> kW	13,97	14,27	17,36	17,42
<b>Coefficiente Eficacia Energética</b>	2,72	3,14	2,53	3,10
<b>Caudal de aire</b> m³/min	130 x 2		130 x 2	
<b>Nivel sonoro</b> (4) dB (A)	59 (56)	59	56 (53)	59
<b>Dimensiones</b> (2) mm	950 / 330+30 / 1.350 x 2		950 / 330+30 / 1.350 x 2	
<b>Peso</b> Kg	126 x 2		133 x 2	
<b>Conexión Frigorífica</b>	Líquido	9,52 (3/8") x 2	12,7 (1/2") x 2	
	Gas	25,4 (1") x 2	25,4 (1") x 2	
<b>Distancias Frigoríficas (Máxima Vertical / Total)</b> m	30/70		30/70	
<b>Condiciones límite de trabajo</b>	-5/+46	-11/+21	-5/+46	-11/+21

MODELO	400	500
UNIDAD INTERIOR	PEA-RP400GA	PEA-RP500GA
<b>Caudal de aire</b> m³/min	120	160
<b>Presión estática</b> Pa	150	150
<b>Nivel sonoro</b> (1) dB (A)	52	53
<b>Dimensiones</b> (2) mm	1.947 / 764 / 595	1.947 / 764 / 595
<b>Peso</b> Kg	130	133

Variadores de frecuencia:

ENTRADA TRIFÁSICA 400 Vac / SALIDA TRIFÁSICA 400 Vac						
AV 51 568	ODE2-14075-3KA12	173 x 79 x 123	0,75	1	2,2	312,00
AV 51 569	ODE2-14150-3KA12	173 x 79 x 123	1,5	2	4,1	359,00
AV 51 570	ODE2-24220-3KA42	224 x 104 x 150	2,2	3	5,8	440,00
AV 51 585	ODE2-24400-3KA42	224 x 104 x 150	4,0	5,5	9,5	499,00
AV 51 586	ODE2-34055-3KA42	261 x 126 x 175	5,5	7,5	13	706,00
AV 51 587	ODE2-34075-3KA42	261 x 126 x 175	7,5	10	18	801,00
AV 51 583	ODE2-34110-3KA42	261 x 126 x 175	11,0	15	24	986,00

Lámparas LED:

### G13 – 220–240 V – 160° – Caja

ST8-HB2-090-830	4052899922471	10	900	3.000	>80	–	590	27,5	40.000	A+	1	27,00
ST8-HB2-100-840	4052899922488	10	1.000	4.000	>80	–	590	27,5	40.000	A+	1	27,00
ST8-HB2-100-865	4052899922495	10	1.000	6.500	>80	–	590	27,5	40.000	A+	1	27,00
ST8-HB4-190-830	4052899922501	21	1.900	3.000	>80	–	1.200	27,5	40.000	A+	1	42,00
ST8-HB4-210-840	4052899922518	21	2.100	4.000	>80	–	1.200	27,5	40.000	A+	1	42,00
ST8-HB4-210-865	4052899922525	21	2.100	6.500	>80	–	1.200	27,5	40.000	A+	1	42,00
ST8-HB5-216-830	4052899922532	24	2.160	3.000	>80	–	1.500	27,5	40.000	A+	1	53,00
ST8-HB5-240-840	4052899922549	24	2.400	4.000	>80	–	1.500	27,5	40.000	A+	1	53,00
ST8-HB5-240-865	4052899922556	24	2.400	6.500	>80	–	1.500	27,5	40.000	A+	1	53,00

## Relé temporizador:

Modelo	N.º de pedido	Grupo precio	RAEE (€)	Precio (€) sin IVA
TM 345 M	3450731	01	-	144,50

- Relé temporizador electrónico
- De uso universal para el control de procesos automáticos en máquinas, sistemas de iluminación, sistemas de ventilación, calefacciones, armarios, etc.
- Configuración analógica y precisa del tiempo
- Entrada de tensión múltiple para todas las tensiones de alimentación y de control, no se requiere ningún puente ni bornas adicionales
- LED para la indicación del estado de la conexión

## Paneles fotovoltaicos:

1.1 Paneles SOLARWORLD		T. máxima	Pnominal/ salida	Pmax	alto-ancho-fondo (mm)	P.V.P.
	2230802	P. SOLARWORLD MONOCRISTALINOS SW 230	20V	230W	1675x1001x34	316,00
	2230803	P. SOLARWORLD MONOCRISTALINOS SW 235	20V	235W	1675x1001x34	323,00
	2230804	P. SOLARWORLD MONOCRISTALINOS SW 240	20V	240W	1675x1001x34	330,00
	2230805	P. SOLARWORLD MONOCRISTALINOS SW 245	20V	245W	1675x1001x34	336,00
	2230806	P. SOLARWORLD MONOCRISTALINOS SW 190 "Black"	20V	190W	810x769x34	215,00

## Soportes para paneles fotovoltaicos:

6.5 Estructura Solución PlugSave * Sobre Pedido					P.V.P.
	2247430	E. PLUGSAVE PARA 1 MÓDULO POLICRISTALINO			136,00
	2247435	E. PLUGSAVE PARA 3 MÓDULOS AVANCIS			252,00
	2247440	E. PLUGSAVE PARA 2 MÓDULOS MONOCRISTALINOS			191,00
	2247445	E. PLUGSAVE PARA 3 MÓDULOS MONOCRISTALINOS			268,00

## Inversor a red:

2. Inversores a Red							
2.1 Inversores a Red STECA			Tensión	Pnominal/ salida	Pmax	alto-ancho-fondo (mm)	P.V.P.
	2267751	I. RED STECA GRID 300-M 300W IP20 (MC3) Conector AC Incluido	45-135V	300W		243x176x71	293,00
	2267753	I. RED STECA GRID 500-M 500W IP20 (MC3) Conector AC Incluido	45-230V	500W		243x176x71	306,00
	2267755	I. RED STECA GRID 2000W Master 2 series D Master-M	80-450V	2000W		542x140x351	1.160,00
	2267760	I. RED STECA GRID 2000W Slave 2 series Slave-M	80-450V	2000W		535x140x226	854,00
	2267761	I. RED STECA GRID 3000W	350-650V	3000W		340x608x222	1.335,00
	2267762	I. RED STECA GRID 3600W	350-650V	3600W		340x608x222	1.482,00
	2267765	I. RED STECA GRID 8000W 3ph	350-680V	8000W		405x845x224	2.569,00
	2267770	I. RED STECA GRID 10.000W	350-700V	10800W		400x847x225	2.856,00

Instrumentación utilizada:

Medidor de distancias.



Anemómetro:



Transmisor programable y pinzas amperimétricas:



Monitores:



## ANEXO 2. CÁLCULO DE LOS CONSUMOS MENSUALES DE ELECTRICIDAD DEL EDIFICIO

CONSUMOS RECOGIDOS EN LAS FACTURAS ELÉCTRICAS (kWh):

	10/12/2013	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Días laborables	25	361	4083	372	132	346	243
Días festivos	10						
	14/01/2014						
	13						
	4						
	31/01/2014	426	3377	266	48	118	73
	8						
	4						
	12/02/2014						
	1						
	0						
	13/02/2014	354	1654	192	51	121	81
	18						
	8						
	11/03/2014						
	20	268	1550	199	45	122	77
	8						
	08/04/2014						
	25	276	1073	243	48	171	104
	10						
	13/05/2014						
	20	208	718	209	42	144	84
	8						
	10/06/2014						
	21	578	1293	236	39	130	78
	8						
	09/07/2014						
	23	1143	2337	355	79	249	131
	10						
	11/08/2014						
	21	1322	1678	205	40	139	81
	8						
	09/09/2014						
	24	859	1173	359	45	166	92

10							
13/10/2014							
21	268	841	275	46	124	76	
8							
11/11/2014							
18	243	1586	196	40	96	62	
6							
05/12/2014							

Los consumos mensuales se calculan mediante la Ecuación 4, realizando ese cálculo para cada uno de los seis periodos recogidos en las facturas.

$$\text{Consumo mes} = \frac{\sum \text{Consumos facturas que incluyen al "mes"}}{\sum \text{Días incluidos en esas facturas}} \cdot \sum \text{Días pertenecientes al "mes" recogidos en esas facturas}$$

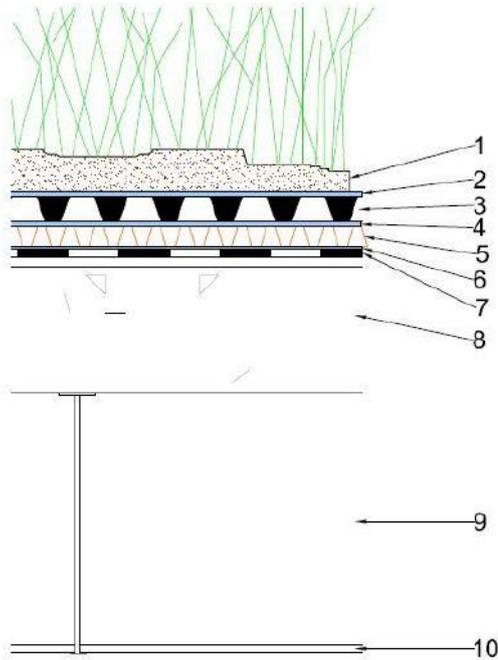
Ecuación 4

CONSUMOS MENSUALES  
(kWh)

DICIEMBRE		P1	P2	P3	P4	P5	P6	TOTAL	
Días laborables	14	216,60	2449,80	223,20	79,20	207,60	145,80	<b>3785,33</b>	DICIEMBRE
Días festivos	7								
ENERO									
	8 13	144,40	1633,20	148,80	52,80	138,40	97,20	<b>4740,18</b>	ENERO
	6 4		3612,82						
		249,72	1979,62	155,93	28,14	69,17	42,79		
FEBRERO									
	8 12	176,28	1397,38	110,07	19,86	48,83	30,21	<b>3236,25</b>	FEBRERO
	4 4								
		209,78	980,15	113,78	30,22	71,70	48,00		
MARZO									
	7 13	144,22	673,85	78,22	20,78	49,30	33,00	<b>2614,37</b>	MARZO
	4 7	191,43	1107,14	142,14	32,14	87,14	55,00		
ABRIL									
	6 14	76,57	442,86	56,86	12,86	34,86	22,00	<b>1849,71</b>	ABRIL

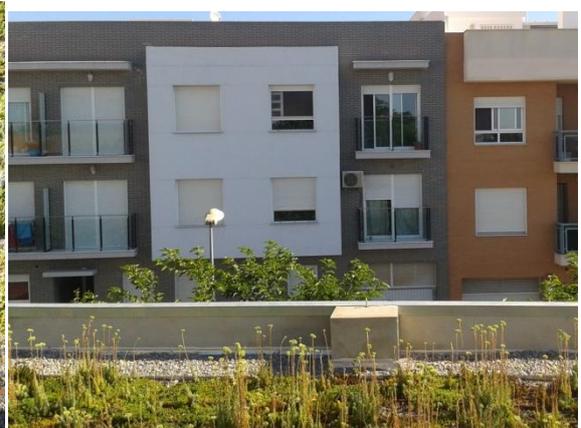
	2	8	173,49	674,46	152,74	30,17	107,49	65,37		
MAYO										
	8	13	102,51	398,54	90,26	17,83	63,51	38,63	<b>1614,50</b>	MAYO
	5	5	133,71	461,57	134,36	27,00	92,57	54,00		
JUNIO										
	7	13	74,29	256,43	74,64	15,00	51,43	30,00	<b>2125,23</b>	JUNIO
	3	7	398,62	891,72	162,76	26,90	89,66	53,79		
JULIO										
	7	16	179,38	401,28	73,24	12,10	40,34	24,21	<b>3593,22</b>	JULIO
	2	6	762,00	1558,00	236,67	52,67	166,00	87,33		
AGOSTO										
	7	13	381,00	779,00	118,33	26,33	83,00	43,67	<b>3820,99</b>	AGOSTO
	4	7	911,72	1157,24	141,38	27,59	95,86	55,86		
SEPTIEMBRE										
	7	14	410,28	520,76	63,62	12,41	43,14	25,14	<b>2739,29</b>	SEPTIEMBRE
	2	7	530,56	724,50	221,74	27,79	102,53	56,82		
OCTUBRE										
	8	13	328,44	448,50	137,26	17,21	63,47	35,18	<b>2041,78</b>	OCTUBRE
	5	5	166,34	522,00	170,69	28,55	76,97	47,17		
NOVIEMBRE										
	7	12	101,66	319,00	104,31	17,45	47,03	28,83	<b>2378,15</b>	NOVIEMBRE
	4	7	192,38	1255,58	155,17	31,67	76,00	49,08		
DICIEMBRE										
	4		50,63	330,42	40,83	8,33	20,00	12,92	<b>463,13</b>	DICIEMBRE'
	1									

### ANEXO 3. CAPAS DE LA CUBIERTA VEGETAL PROPUESTA Y FOTOGRAFÍAS TOMADAS.



Nº	CAPAS	Espesor (cm)
1	TIERRA VEGETAL	6
2	FILTRO ANTIRRAICES	
3	CAPA DE DRENAJE, HUEVERA	4
4	GEOTEXTIL	
5	AISLAMIENTO, XPS	4
6	GEOTEXTIL	
7	LAMINA IMPERMEABILIZANTE	
8	FORJADO	25
9	CAMARA FALSO TECHO	50
10	FALSO TECHO REGISTRABLE	1.5





## ANEXO 4. PLANOS DEL EDIFICIO.

