

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Evaluación de la cobertura de la demanda de climatización de un distrito mediante el aprovechamiento de su potencial fotovoltaico.

Autor: Alejandra Espejo Sabariego

Tutores: Servando Álvarez Domínguez

Laura Romero Rodríguez

Dep. Ingeniería Energética
Grupo Termotecnia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Evaluación de la cobertura de la demanda de climatización de un distrito mediante el aprovechamiento de su potencial fotovoltaico.

Autor:

Alejandra Espejo Sabariego

Tutores:

Servando Álvarez Domínguez

Laura Romero Rodríguez

Dep. Ingeniería Energética

Grupo Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Grado: Evaluación de la cobertura de la demanda de climatización de un distrito mediante el aprovechamiento de su potencial fotovoltaico.

Autor: Alejandra Espejo Sabariego

Tutores: Servando Álvarez Domínguez
Laura Romero Rodríguez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi madre
A mi familia
A Jose Manuel
A mis amigos

Agradecimientos

En primer lugar, darle mis más sentidos agradecimientos a Servando y a Laura por haberme dado la oportunidad de realizar con ellos este Trabajo Fin de Grado que pone el broche final a esta etapa de estudios. Gracias por toda vuestra atención y tiempo dedicado para la consecución del mismo.

Muchas gracias a todas las personas que confiaron en que este día llegara, a los que se fueron y a los que aún siguen dándome todo su apoyo. Gracias a mis amigos, a los de siempre, a los que nunca fallan, a los que están en las buenas y en las malas, en las duras y en las maduras; y a los conocidos en este periodo que se han convertido en una parte imprescindible de mi vida. Gracias a mis compañeras de piso, por todas las noches de biblioteca y madrugadas llenas de apuntes.

Gracias a Jose Manuel por todas tus palabras llenas de comprensión y entendimiento en los momentos más difíciles, pero sobre todo gracias por tus bromas, chistes y la alegría que pones en todo lo que haces. Gracias por sacarme una sonrisa y mil carcajadas a cada momento.

Por último, pero no menos importante, darle las gracias a mi familia. Gracias a mi tito Manolín, a mi tita Isa, a mis primos Jose, Isabel y Guillermo. Gracias a mis abuelos quienes desde pequeña me enseñaron los valores de la constancia, perseverancia y a seguir mis sueños y no rendirme antes las adversidades. Gracias a mi hermana, mi mitad, mi complemento.

En especial, gracias a la mujer de mi vida, mi madre. Gracias por toda tu dedicación, esfuerzo y sacrificio a lo largo de toda tu vida, sin ti no hubiese llegado hasta aquí. Gracias por tu amor incondicional.

Alejandra Espejo Sabariego

Sevilla, 2017

Resumen

El presente Trabajo Fin de Grado trata sobre un estudio del potencial fotovoltaico para cubrir la demanda de climatización de un distrito de Sevilla, en torno a la avenida José Laguillo, comprendiendo un área de aproximadamente 74.500 m². En este estudio se ha analizado la demanda de tres grupos de edificios: residenciales, terciarios y locales, resultando ser dicha demanda de climatización total anual de todo el distrito de 22.481MWh, o de manera genérica 61 kWh/m².

La energía eléctrica fotovoltaica generada por los módulos seleccionados de eficiencia 16,29 % supone un total de 4.850 MWh, por lo cual, teniendo en cuenta que de la demanda anterior 11.241 MWh son consumidos por energía eléctrica, la electricidad generada por los módulos fotovoltaicos cubre un total de 43,15 % de la demanda de climatización del distrito.

La instalación de estos módulos fotovoltaicos resultaría en una reducción de las emisiones de CO₂ de un 29 % y un ahorro en costes de un 33,84 % anual.

Abstract

The present project is aimed at determining the photovoltaic potential of a district in Seville with approximately 74.500 m² around the Jose Laguillo Avenue, so as to cover the heating and cooling demand of its buildings. This study has analyzed the demand for three groups of buildings: residential, tertiary and commercial, with a resulting total annual demand for the entire district of 22,481MWh, or generically 61 kWh / m².

The photovoltaic electric energy offered by the selected modules of 16.29% efficiency means a production of 4850 MWh, which taking into account that of the previous demand 11,241 MWh are consumed by electricity, means that the electric energy generated by the photovoltaic panels covers 43.15% of the total heating and cooling demand of the district.

The installation of these photovoltaic panels would reduce CO₂ emissions by 29%, and achieve savings up to 33.84% per year.

Índice

Agradecimientos	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
Índice	XIV
Índice de Tablas	XVII
Índice de Figuras	XIX
1 Introducción	1
1.1 <i>Situación energética a escala mundial</i>	1
1.2 <i>El efecto invernadero</i>	3
1.3 <i>Energías renovables</i>	4
1.4 <i>Situación energética en España</i>	5
1.5 <i>Generación Distribuida</i>	7
1.5.1 <i>Energía fotovoltaica</i>	8
2 Justificación del proyecto	9
2.1 <i>Motivación</i>	9
2.2 <i>Objetivos</i>	9
3 Descripción del distrito	11
3.1 <i>Ubicación</i>	11
3.2 <i>Características de los edificios</i>	11
3.2.1 <i>Superficie de cubierta disponible</i>	12
3.2.2 <i>Número de plantas, año de construcción y altura</i>	12
3.2.3 <i>Transmitancia térmica de cubierta, muros y suelo</i>	13
3.2.4 <i>Acrisolamiento</i>	14
3.2.5 <i>Superficie de transferencia, volumen y compacidad</i>	15
3.3 <i>Clasificación de los edificios</i>	15

4	Análisis de la demanda	17
4.1	<i>Demanda de edificios residenciales</i>	19
4.1.1	Demanda de la planta intermedia	20
4.1.2	Demanda de la cubierta	21
	<i>Demanda de edificios docentes</i>	22
4.1.3	Demanda del Instituto de Secundaria	22
4.1.4	Demanda del Anexo de Bellas Artes	24
4.2	<i>Demanda del gimnasio</i>	24
4.2.1	Ocupación	25
4.2.2	Iluminación y equipos	25
4.3	<i>Demanda del hotel</i>	26
4.3.1	Ocupación	27
4.3.2	Iluminación y equipos	27
4.4	<i>Demanda del centro de salud</i>	28
4.4.1	Ocupación	28
4.4.2	Iluminación y equipos	28
4.5	<i>Demanda de locales</i>	30
4.5.1	Ocupación	30
4.5.2	Iluminación y equipos	30
5	Análisis del potencial fotovoltaico	33
5.1	<i>Coefficientes de reducción del área</i>	33
5.1.1	Por arquitectura	33
5.1.2	Por efectos solares	34
5.2	<i>Coefficientes de reducción del potencial fotovoltaico</i>	37
5.2.1	Eficiencia del módulo	38
5.2.2	Pérdidas de temperatura e irradiación	38
5.2.3	Eficiencia del sistema	38
6	Resultados	41
6.1	<i>Demanda</i>	41
6.2	<i>Generación de energía eléctrica fotovoltaica</i>	44
6.3	<i>Ahorro de CO₂</i>	47
6.3.1	Emisiones de CO ₂ sin fotovoltaica	47
6.3.2	Emisiones de CO ₂ con fotovoltaica	48
6.4	<i>Análisis económico</i>	50
6.4.1	Coste sin fotovoltaica	50
6.4.2	Coste con fotovoltaica	51
7	Análisis de sensibilidad	53
7.1	<i>Variación de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos</i>	53
7.2	<i>Variación de COP y EER</i>	58
8	Conclusiones	63
9	Referencias	65
	Anexo I: Características de los edificios	67
	Anexo II: Ocupación, iluminación y equipos	74
	<i>Residenciales</i>	74
	<i>Edificios docentes</i>	76
	<i>Gimnasio</i>	77
	<i>Hotel</i>	78
	<i>Centro de Salud</i>	79
	<i>Locales</i>	80
	Anexo III: Comparativa de orientación	81

Anexo IV: Ficha técnica módulos fotovoltaicos	82
Anexo V: Demanda del distrito	85
<i>Residenciales</i>	<i>85</i>
<i>Terciarios</i>	<i>86</i>
<i>Locales</i>	<i>87</i>
<i>Distrito</i>	<i>88</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Consumo de energía primaria en KTEP durante los años 2014-2015 (<i>Ministerio de Energía y Turismo</i>)	5
Tabla 3.1 Clasificación de los edificios	16
Tabla 4.1 Superficies intermedias y de cubierta de cada tipo de edificio	20
Tabla 4.2 Demanda mensual y anual de refrigeración, calefacción y total de residenciales en MWh	22
Tabla 4.3 Demanda mensual y anual de refrigeración, calefacción y total de terciarios en MWh	29
Tabla 4.4 Demanda mensual y anual de refrigeración, calefacción y total de locales en MWh	31
Tabla 5.1 Energía anual producida en dos casos de diferente orientación	36
Tabla 5.2 Irradiación incidente para una inclinación de 33° y orientación de 28°	37
Tabla 5.3 Coeficientes de reducción	39
Tabla 6.1 Demanda de refrigeración, calefacción y total mensual del distrito en MWh	41
Tabla 6.2 Demanda de los edificios del distrito en kWh/m ²	43
Tabla 6.3 Irradiancia y energía fotovoltaica potencial mensual	45
Tabla 6.4 Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura	46
Tabla 6.5 Consumo eléctrico y emisiones de CO ₂ sin fotovoltaica	48
Tabla 6.6 Consumo, emisiones fotovoltaica y eléctrica y emisiones evitadas	49
Tabla 6.7 Coste del consumo eléctrico sin fotovoltaica	51
Tabla 6.8 Evaluación del coste y ahorro de la generación de la energía eléctrica fotovoltaica	52
Tabla 7.1 Irradiancia y energía fotovoltaica mensual para un aumento de la eficiencia	53
Tabla 7.2 Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura para una mayor eficiencia	55
Tabla 7.3 Consumo, emisiones fotovoltaica y eléctrica y emisiones evitadas para un aumento de la eficiencia	56
Tabla 7.4 Coste y ahorro de la energía con fotovoltaica para un aumento de la eficiencia energética	57
Tabla 22. Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura para un aumento de COP y EER	59
Tabla 23. Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura para un aumento de COP y EER	60
Tabla 24. Coste y ahorro de la energía con fotovoltaica para un aumento de COP y EER	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Energía mundial consumida durante los años 2014-2015 (<i>International Energy Agency</i>)	1
Figura 1.2 Consumo de energía primaria mundial durante el año 2015 (<i>International Energy Agency</i>)	3
Figura 1.3 Consumo de energía primaria en España durante el año 2015 (<i>Ministerio de Energía y Turismo</i>)	6
Figura 1.4 Consumo de energía final por sectores en España durante el año 2015 (<i>Ministerio de Energía y Turismo</i>)	6
Figura 1.5 Estructura de la demanda energética de los hogares en España durante el año 2015 (<i>Ministerio de Energía y Turismo</i>)	7
Figura 1.6 Estructura del consumo de hogares en España por usos en el año 2015 (<i>Ministerio de Energía y Turismo</i>)	7
Figura 1.7 Esquema de un modelo de generación distribuida	8
Figura 3.1 Área del distrito seleccionado	11
Figura 3.2 Ejemplo de una superficie no disponible de un edificio	12
Figura 3.3 Datos generales del programa CE3	13
Figura 3.4 Ejemplo de los datos constructivos del programa CE3	14
Figura 3.5 Ejemplo del cálculo de acristalamiento	14
Figura 4.1 Datos generales del programa DSGCODE	17
Figura 4.2 Obstáculos propios y remotos del programa DSGCODE	18
Figura 4.3 Ejemplo de obstáculos propios y remotos	18
Figura 4.4 Valores de ocupación, iluminación y equipos para residenciales	21
Figura 4.5 Otros datos de DSGCODE del instituto de secundaria	23
Figura 4.6 Otros datos de DSGCODE del Anexo de Bellas Artes	24
Figura 4.7 Evolución de ocupación del gimnasio	25
Figura 4.8 Datos de ocupación, iluminación y equipos del gimnasio	25
Figura 4.9 Otros datos de DSGCODE del gimnasio	26
Figura 4.10 Evolución de ocupación del hotel	26
Figura 4.11 Datos de ocupación, iluminación y equipos del hotel	27
Figura 4.12 Otros datos de DSGCODE del hotel	28
Figura 4.13 Otros datos de DSGCODE del centro de salud	29
Figura 4.14 Valores de ocupación, iluminación y equipos para residenciales	30
Figura 5.1 Diagrama de flujo de los coeficientes de reducción del área	33
Figura 5.2 Orientación de los edificios del distrito	34
Figura 5.3 Módulos orientados 28° hacia el oeste	35
Figura 5.4 Reducción del área por orientación	35

Figura 5.5 Módulos orientados hacia el sur	36
Figura 5.6 Diagrama de flujo de los coeficientes de reducción del potencial fotovoltaico	38
Figura 6.1 Evolución de la demanda en función del tipo de edificio	42
Figura 6.2 Demanda de los edificios del distrito en MWh	42
Figura 6.3 Estructura de la demanda del distrito	43
Figura 6.4 Demanda de los edificios del distrito en kWh/m ²	44
Figura 6.5 Evolución de la irradiancia y la energía fotovoltaica producida mensualmente	45
Figura 6.6 Evolución de la EPV, la demanda y el consumo del distrito en MWh	47
Figura 6.7 Comparativa de las emisiones de CO ₂ mensuales	50
Figura 6.8 Comparación del coste y ahorro con y sin fotovoltaica	52
Figura 7.1 Comparativa de la energía fotovoltaica generada para un aumento de la eficiencia	54
Figura 7.2 Comparativa de las emisiones de CO ₂ evitadas para un aumento de la eficiencia	57
Figura 7.3 Comparativa del ahorro por el aumento de la eficiencia	58
Figura 7.4 Comparación del consumo por la variación de COP y EER	59

1 INTRODUCCIÓN

El estudio que se va a llevar a cabo en el presente Trabajo de Fin de Grado pretende analizar cómo se encuentra hoy en día la situación energética mundial y ofrecer una visión a nivel de distrito para contribuir a su mejora, centrandolo en la cobertura de las demandas de climatización mediante energías renovables, concretamente a través del aprovechamiento del potencial de generación de la energía fotovoltaica.

1.1 Situación energética a escala mundial

En 2015 el consumo de energía primaria a nivel mundial se vio incrementado un 1,0 % respecto al año 2014, ratio similar al de la tasa de crecimiento vista en el año anterior, aunque de manera mucho más lenta que el promedio observado durante la última década. Durante dicho año, se produjo un incremento fuerte en la implementación de las energías renovables, en especial de la eólica y solar. En Europa y Eurasia el crecimiento del consumo estuvo por encima del promedio de la última década, a diferencia del resto de regiones. Las economías emergentes representaron el 97% del aumento mundial en el consumo. El consumo de los países pertenecientes a la OCDE sufrió un pequeño aumento, con un crecimiento en Europa compensando así la disminución del continente americano. En China el consumo se redujo de manera más destacada, sin embargo, registró el incremento más importante por decimoquinto año consecutivo. Por el contrario, Rusia registró la mayor disminución en consumo de energía primaria.

La siguiente figura muestra una comparativa del consumo energético, medido en toneladas de petróleo equivalente, a escala mundial de las principales fuentes primarias de energía durante los años 2014 y 2015:

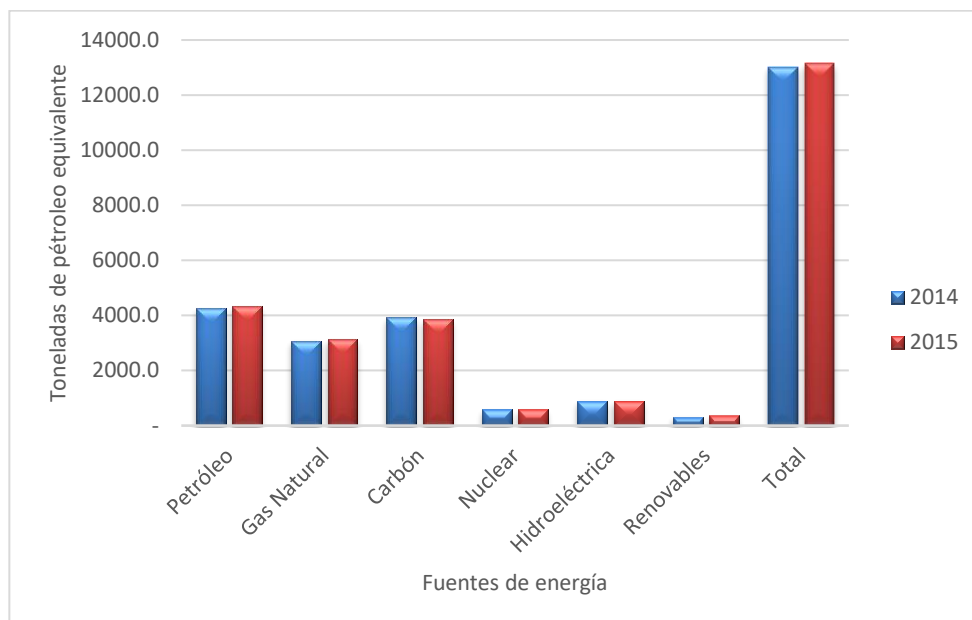


Figura 1.1 Energía mundial consumida durante los años 2014-2015 (*International Energy Agency*)

A continuación, se recoge un resumen de los datos obtenidos a través de la página de la *International Energy Agency* acerca del consumo mundial de cada una de las diferentes fuentes de energía primarias registradas durante el año 2015.

- **Petróleo**

El consumo de petróleo representó el 32,9% del consumo mundial de energía primaria, es decir, aumentó con respecto al 2014 como consecuencia de la caída de los precios del crudo, registrando el mayor porcentaje de caída desde 1986.

La producción mundial de petróleo creció muy rápidamente por segundo año consecutivo, aumentando en 2,8 millones de barriles por día, su mayor aumento desde 2004. Este crecimiento del 3,2% se debió principalmente a la producción de Oriente Medio que decidió mantenerla al máximo con el fin de evitar una pérdida en el mercado.

- **Gas Natural**

El consumo mundial de gas natural aumentó un 1,7% durante el año 2015, lo cual supuso un incremento significativo con respecto al año 2014, el cual fue del 0,6%, aunque se encuentra por debajo de la media de la última década del 2,3%. El gas natural supuso el 23,8% del consumo de energía primaria a escala mundial durante 2015, siendo Noruega (+7,7%), Irán (+5,7%) y EEUU (+5,4%) los países con mayores aumentos en el nivel de la producción. Por el contrario, los Países Bajos registraron la mayor caída del mundo (-22,8%).

Al igual que en el caso del petróleo, el crecimiento del consumo fue inferior al promedio fuera de la OCDE, con un 1,9%, representado el 53,5% respecto al consumo mundial. Las economías emergentes, como Irán con un 6,2% y China con un 4,7%, registraron los mayores aumentos del consumo a escala internacional. La Unión Europea incrementó su consumo en gas natural con un 4,6%, tras su gran descenso durante el año 2014.

- **Carbón**

El consumo mundial del carbón se vio reducido en un 1,8% durante el año 2015, muy por debajo del crecimiento promedio de la última década, con un crecimiento promedio de los últimos diez años del 2,1% anual, es decir, ha experimentado la mayor caída de su historia. Este decremento de la demanda se debió principalmente a la caída del consumo en EEUU y China, a pesar de ser el combustible dominante en estos países.

La producción de energía utilizando como combustible el carbón cayó un 4% durante el año 2015. Indonesia representa el país con el porcentaje más alto de la disminución volumétrica en la producción de carbón con un 14,4%, seguido de Estados Unidos con un 10,4%; siendo también el país con mayor reducción en el consumo a nivel mundial con un 12,7% sobre el consumo total.

- **Nuclear**

La energía nuclear representó el 4,4% del consumo total de energía primaria a escala mundial. Su producción creció un 1,3% respecto al 2014, siendo China el mayor productor internacional de esta energía.

- **Renovables**

Las energías renovables siguieron incrementando durante este periodo, alcanzando el 9,6% del consumo global de energía, superando con creces el 0,8% que representaba diez años atrás. La producción de energía renovable frente a la total producida a nivel mundial representó el 6,7%, dato muy relevante comparado con el 2% del año 2005.

Los países que más han invertido en las energías renovables en el año 2015 han sido Alemania y China, suponiendo un incremento de un 23,5% y un 20,9% respectivamente, en la generación de este tipo de energía [1] [2].

La siguiente gráfica de sectores muestra el porcentaje a nivel global que representa el consumo de energía primaria mundial de cada una de las principales fuentes de energía durante el año 2015:

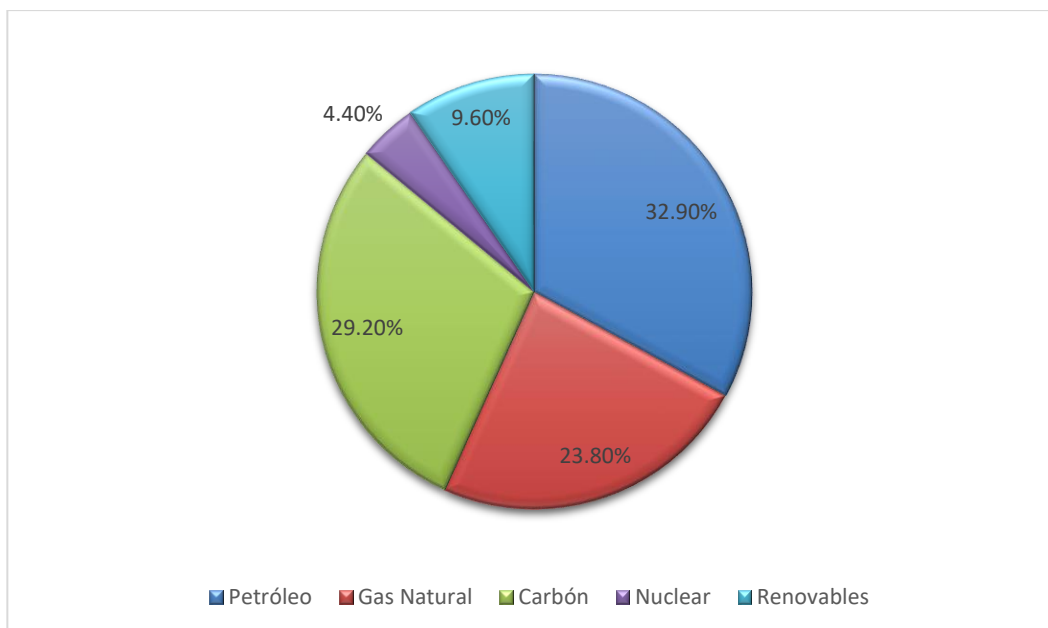


Figura 1.2 Consumo de energía primaria mundial durante el año 2015 (*International Energy Agency*)

1.2 El efecto invernadero

Como consecuencia del excesivo consumo de combustibles fósiles para la producción de energía, los gases emitidos de efecto invernadero como por ejemplo el dióxido de carbono (CO_2), entre otras actividades humanas, están alterando el clima mundial. El cambio climático es uno de los problemas más complejos y de rápida evolución debido a los numerosos factores que en él intervienen. Cabe destacar que el clima del planeta Tierra nunca ha sido estático, como consecuencia de alteraciones en el balance energético se ha visto sometido a variaciones climáticas desde hace millones de años, por ejemplo, destacan los periodos glaciares e interglaciares.

La variación global del clima de la Tierra es debida tanto a causas naturales (variaciones solares, orbitales, corrientes oceánicas, campo magnético, etc) como antropogénicas, produciéndose a escalas muy diversas de tiempo y afectando a todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. En la actualidad existe un consenso científico en torno a la idea de que el nivel de producción y el consumo energético están generando una alteración climática a nivel global.

Una de las raíces del cambio climático es el efecto invernadero. El término efecto invernadero hace referencia a la retención del calor del Sol en la atmósfera de la Tierra por acción de una capa de gases contenida en ella. Sin estos gases la vida terrestre y marina no sería posible puesto que el planeta alcanzaría temperaturas demasiado gélidas. Dentro de estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, los cuales se han visto incrementados por su liberación en la industria, agricultura y en la combustión de residuos fósiles. La industrialización del planeta ha llevado un incremento de la concentración de estos gases de un 30% desde el siglo anterior [3].

En el año 2011 el Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) puso de manifiesto la evidencia proporcionada por observaciones de los sistemas físicos y biológicos que mostraba los cambios regionales el clima, concretamente los aumentos de temperatura de aproximadamente $0,85\text{ }^\circ\text{C}$ desde el siglo XX, el aumento del nivel del mar que ha crecido entre 10 y 12 centímetros y el progresivo deshielo de las masas glaciares del Ártico [4].

Su impacto potencial es enorme: falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento de los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor. En definitiva, el cambio climático es un fenómeno ambiental que afecta tanto económica como socialmente a la humanidad.

1.3 Energías renovables

Las soluciones alternativas a este problema comienzan con una revolución energética que transforme el sistema de energía fósil en energías renovables. Las energías renovables son aquel tipo de energía obtenida de fuentes naturales inagotables. Las fuentes de energía renovable se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Biomasa

Es el conjunto de materia biológicamente renovable cuya energía es susceptible de ser aprovechada por combustión de la misma si se encuentra en estado sólido, por fermentación de azúcares si se encuentra en estado líquido o mediante descomposición anaeróbica de la materia orgánica en caso de encontrarse de forma gaseosa.

- Geotérmica

Es la energía producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la Tierra y la de la superficie mediante los cuerpos de roca caliente o reservorios de conducción y convección. Esta energía es aprovechada a través de la inyección de agua a alta presión que pasa a estado de vapor y mueve turbogeneradores eléctricos.

- Eólica

Es aquella energía obtenida a partir de la energía cinética del viento creada por corrientes de aire mediante el empleo de aerogeneradores.

- Hidráulica

Es la energía aprovechada de la energía cinética y potencial del agua de los ríos y lagos mediante presas que permiten almacenarla y descargarla a un nivel inferior para generar electricidad a través del uso de turbinas.

- Energía azul o potencial osmótica

Es la energía que se obtiene de la diferencia de concentración de sal entre el agua de mar y el agua de río. El agua dulce atraviesa una membrana que incrementa el volumen en el depósito de agua salada, produciendo un importante incremento de la presión en el depósito de agua salada, puede llegar a equivaler a un salto de agua de unos 120 metros de altitud.

- Mareomotriz

Es la energía que se obtiene del aprovechamiento de las mareas haciendo uso de un alternador, para su beneficio las mareas deben ser superiores a 5 metros de altura entre la marea de alta y la de baja.

- Undimotriz

Es la energía convertida mediante turbinas y generadores de corriente eléctrica gracias al movimiento de las olas y su energía cinética y potencial contenida.

- Solar

Es la energía obtenida a partir de la radiación solar electromagnética procedente del Sol. Existen centrales térmicas que transforman esta energía en calorífica mediante la concentración de espejos parabólicos sobre tubos o depósitos de agua o aceite que lo vaporizan accionando una turbina que genera electricidad. También se puede aprovechar mediante energía solar fotovoltaica [5].

1.4 Situación energética en España

A escala nacional, en España durante el año 2015 el consumo de energía primaria fue de 123.868 kilotoneladas de petróleo equivalente, es decir, un 4,6% más respecto al año 2014. Éste es el resultado de sumar al consumo final de energía los consumos en los sectores energéticos (consumos propios y consumos en transformación, especialmente en generación eléctrica y refinerías de petróleo) y las pérdidas. La tabla 1.1 recoge una comparativa del consumo de energía primaria durante los años 2014 y 2015, así como la tasa de variación producida en estos años:

Tabla 1.1 Consumo de energía primaria en KTEP durante los años 2014-2015 (*Ministerio de Energía y Turismo*)

Fuente de energía	2014	2015	Tasa de variación (%)
Carbón	11.639	14.426	23,9
Petróleo	50.447	52.434	3,9
Gas natural	23.662	24.590	3,9
Nuclear	14.934	14.927	-0,0
Hidráulica	3.369	2.397	-28,9
Eólica, Solar y Geotérmica	7.599	7.476	-1,6
Biomasa, biocarb. y resid. renovables	6.828	7.371	8,0
Residuos no renovables	204	260	27,5
Saldo imp-exp electricidad	-293	-13	-95,6
TOTAL	118.389	123.868	4,6

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el consumo total de carbón fue de 14.426 ktep, con un incremento del 23,9% sobre el año 2014, debido principalmente a la mayor generación eléctrica mediante este combustible. Por su parte, el consumo de petróleo fue de 52.434 ktep, con un aumento del 3,9% sobre 2014. El mismo aumento sufrió el gas natural con 24.590 ktep, alcanzando su peso en el consumo total de energía de un 19,82%.

La aportación de las energías renovables sufrió un ligero descenso respecto a la anualidad anterior, como resultado de la disminución de la producción hidráulica y eólica en 2015 a causa de una menor disponibilidad del recurso. Cabe destacar que la producción de energía de origen nuclear no tuvo variación alguna con respecto a la producción del año 2014.

El siguiente esquema de sectores muestra el porcentaje del consumo de energía primaria de España durante el año 2015 de cada una de las diferentes fuentes de energía sobre el total consumido (sin incluir el saldo eléctrico) [6]:

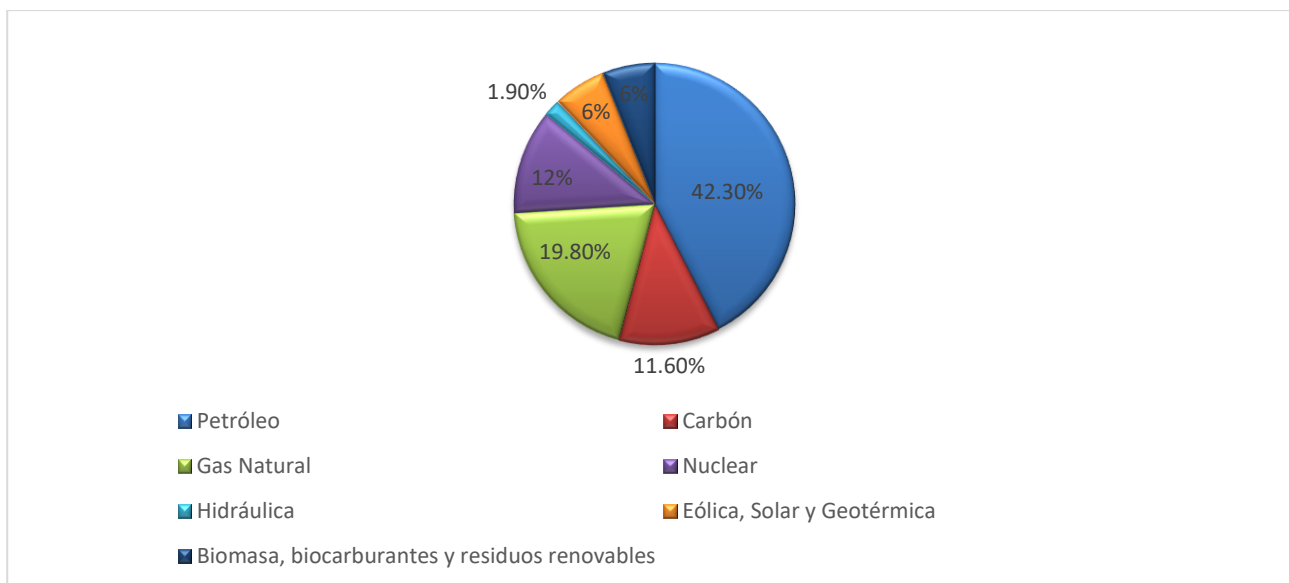


Figura 1.3 Consumo de energía primaria en España durante el año 2015 (*Ministerio de Energía y Turismo*)

De acuerdo con la demanda final de energía a nivel sectorial de España durante el periodo de 2015, se constata que el principal consumidor es el sector del transporte con el 40,4% de la energía consumida, seguido del sector industrial con un 25,1% y el residencial con un 18,7%, quedando en últimas posiciones el sector servicios y el sector agricultura y pesca con un 11,20% y un 3,50% respectivamente. Estos datos quedan recogidos en la figura inferior:

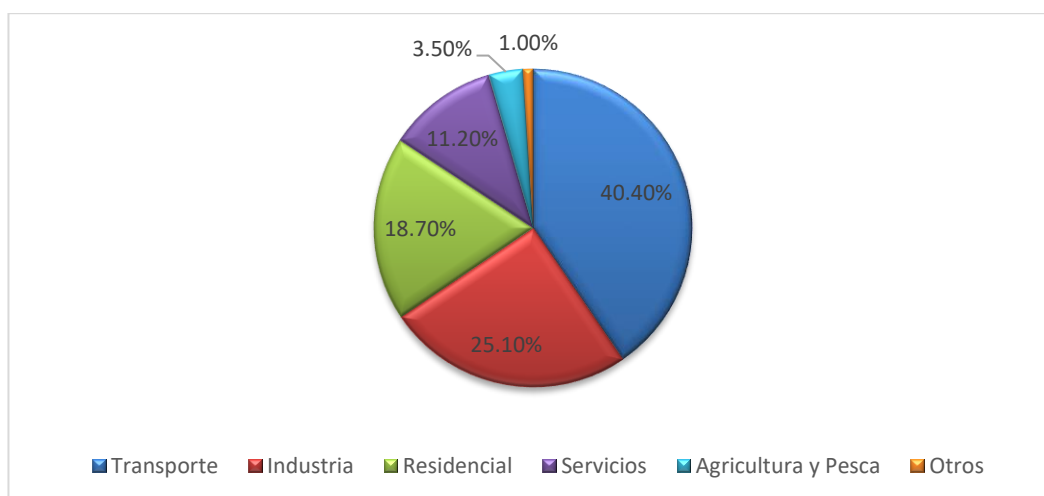


Figura 1.4 Consumo de energía final por sectores en España durante el año 2015 (*Ministerio de Energía y Turismo*)

Atendiendo al sector residencial, la demanda energética se satisface principalmente por el empleo de combustibles tanto de origen fósil como renovable para compensar principalmente los usos de tipo térmico como por ejemplo la calefacción. La figura 1.5 muestra la estructura de la demanda energética de los hogares españoles en el año 2015, en la cual se puede apreciar que el 44,30% de la demanda energética es de origen eléctrico, seguido del gas natural con un 21,00% y de los productos petrolíferos con un 18,70%. Por su parte, la demanda de las energías renovables se ha visto aumentada en los hogares españoles alcanzando el 18,70%.

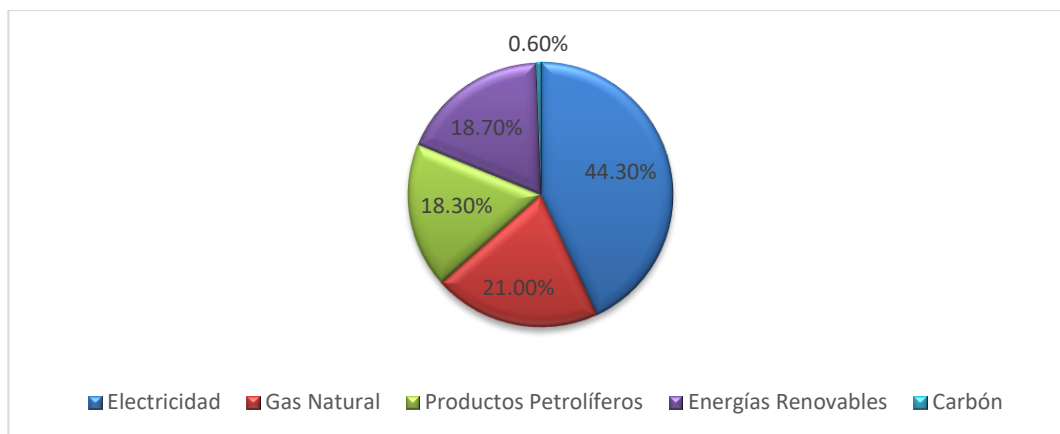


Figura 1.5 Estructura de la demanda energética de los hogares en España durante el año 2015 (*Ministerio de Energía y Turismo*)

El consumo eléctrico se ha visto retraído con respecto al año 2014 como consecuencia de una saturación del nivel de equipamiento electrodoméstico de los hogares españoles, al cual se le suma un efecto tecnológico ligado a la renovación de los equipos existentes (electrodomésticos e iluminación). A este hecho se le ve añadido el impacto favorable de avances legislativos introducidos en el ámbito de la edificación que conllevan requerimientos más eficientes.

La figura 1.6 recoge la estructura del consumo de los hogares españoles durante el año 2015 en función de los usos asignados a la energía. Con un 43,00% sobre el total resalta el consumo de calefacción, seguido por el empleo de electrodomésticos con un 26,60% y ACS con un 17,90%, entre los más importantes.

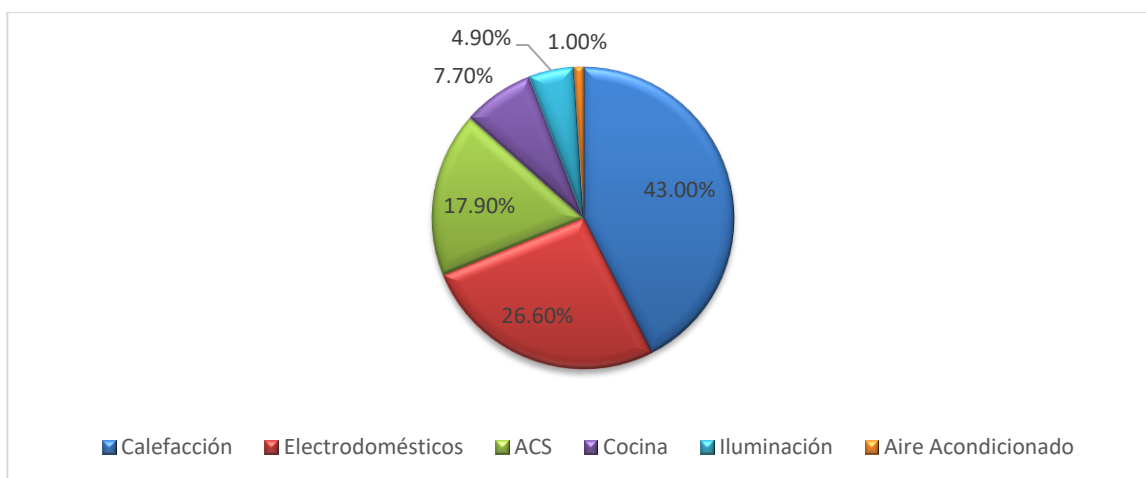


Figura 1.6 Estructura del consumo de hogares en España por usos en el año 2015 (*Ministerio de Energía y Turismo*)

1.5 Generación Distribuida

Durante las últimas décadas se ha desarrollado una alternativa al esquema de generación centralizada actual. Se denomina generación centralizada al modelo de generación de energía en cual la mayoría de las plantas de generación se encuentran situadas a una distancia considerable de los centros de consumo, siendo necesario otorgar al sistema de una estructura de transporte, lo cual conlleva un coste asociado al suministro. La alternativa se conoce como generación distribuida o descentralizada, ni a nivel europeo ni mundial existe un consenso sobre qué es exactamente debido a los factores que afectan a su definición, como por ejemplo la tecnología empleada, el límite de potencia o la conexión a red.

De manera genérica se puede decir que la generación distribuida se caracteriza por la generación de energía a pequeña escala cerca de los puntos de consumo o en las mismas instalaciones del consumidor mediante energías renovables [7].

En el último Real Decreto 413/2014, del 6 de junio, del Estado Español define la generación distribuida como *“instalaciones que fomenten la producción de energía a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración de alta eficiencia y residuos, que podrá ser percibido por las instalaciones adicionalmente a la retribución que les corresponda por su participación en el mercado de producción de energía eléctrica a través de cualquiera de sus modalidades de contratación”*.

Los sistemas utilizados como fuentes de energía distribuida son plantas de generación de energía de pequeña potencia, entre 3kW y 10 MW, empleados como una alternativa o ayuda de las centrales tradicionales de generación eléctrica. Los principales sistemas de fuentes de energía distribuida son microturbinas, cogeneración pilas de combustibles, vehículos eléctricos y sistemas renovables como la energía solar fotovoltaica y eólica.

En España, durante los años comprendidos entre 2004 y 2011, se ha pasado de tener 5.175 puntos de generación eléctrica a más de 60.000, aunque no todos corresponden con instalaciones de generación distribuida dan una idea del alcance de las unidades de generación instaladas en la última década [8].



Figura 1.7 Esquema de un modelo de generación distribuida

1.5.1 Energía fotovoltaica

Como se ha comentado, la principal fuente de energía para espacios con generación distribuida es la energía fotovoltaica. La energía solar fotovoltaica consiste en sistemas de transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica gracias al aprovechamiento de las propiedades semiconductoras que presentan los materiales de las células fotovoltaicas, que provocan un desplazamiento de cargas en su interior, originando la generación de una corriente continua. Cuanto mayor sea la radiación incidente sobre los módulos y menor sea la temperatura mayor será la producción de los mismos.

A nivel internacional la energía solar fotovoltaica ha experimentado una gran evolución en los últimos años, tanto en potencia instalada, en coste como en eficiencia. La dinámica de los precios de los módulos y otros componentes básicos de las instalaciones ha tenido una tendencia descendente hasta la actualidad debido a las economías de escala adoptadas por las empresas productoras y la tecnología desarrollada. Esta reducción de costes se refleja en la disminución del LCOE (Levelized Cost Of Energy) que es el parámetro que permite comparar diferentes tecnologías de producción de energía, tanto convencionales como renovables. La eficiencia de los módulos fotovoltaicos se ha visto incrementada hasta alcanzar alrededor de un 22,5% en la actualidad en los mejores casos y se prevé que siga mejorando durante los próximos años [9].

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.1 Motivación

En la actualidad, la mayoría de los estudios realizados sobre tecnología fotovoltaica se basan en sistemas de autoconsumo (sistemas autónomos aislados de la red eléctrica), en los cuales la energía se utiliza para cubrir una determinada demanda eléctrica que abarca desde sistemas de electrificación profesionales hasta sistemas de bombeo de agua. También existen múltiples estudios sobre sistemas de conexión a la red de huertas solares fotovoltaicas o centrales fotovoltaicas, cuya función es similar a la de una central convencional de generación de energía en el sentido que se produce una total inyección de la energía en la red.

Sin embargo, son pocas las investigaciones llevadas a cabo a nivel comarcal o de distrito, siendo, por lo tanto, muy reducida la comprensión de los beneficios potenciales que este tipo de estudios conlleva.

2.2 Objetivos

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado es determinar el porcentaje de cobertura del consumo de climatización mediante el aprovechamiento del potencial fotovoltaico a escala urbana de un distrito de Sevilla (José Laguillo), atendiendo a edificios residenciales y terciarios de diferentes tipos. Para ello se han tenido en cuenta los consumos de ocupación, iluminación y equipos. Con ello se pretende estudiar la reducción de las emisiones de CO₂ y el ahorro económico que supone y analizar los valores obtenidos en función de la tecnología seleccionada.

3 DESCRIPCIÓN DEL DISTRITO

3.1 Ubicación

La elección del distrito de Sevilla donde se va a llevar a cabo el estudio se ha centrado en la búsqueda de una región heterogénea, que presentara distintos tipos de edificios: residenciales, comerciales, terciarios y centros públicos.

El área elegida corresponde a la zona de la avenida José Laguillo, como se puede apreciar en la siguiente imagen, contando con 190 edificios residenciales, un Instituto de Educación Secundaria y Bachillerato (IES Isbilya), un gimnasio (Sato Sport Club), el Anexo de Bellas Artes de la Universidad de Sevilla, un hotel (Hotel Catalonia) y un centro de salud (Centro de Salud Esperanza Macarena). También muestra una gran variedad de locales de hostelería, ocio y belleza, por ejemplo: bares, restaurantes, peluquerías, tiendas de ropa, bancos, supermercados, farmacias, etc.

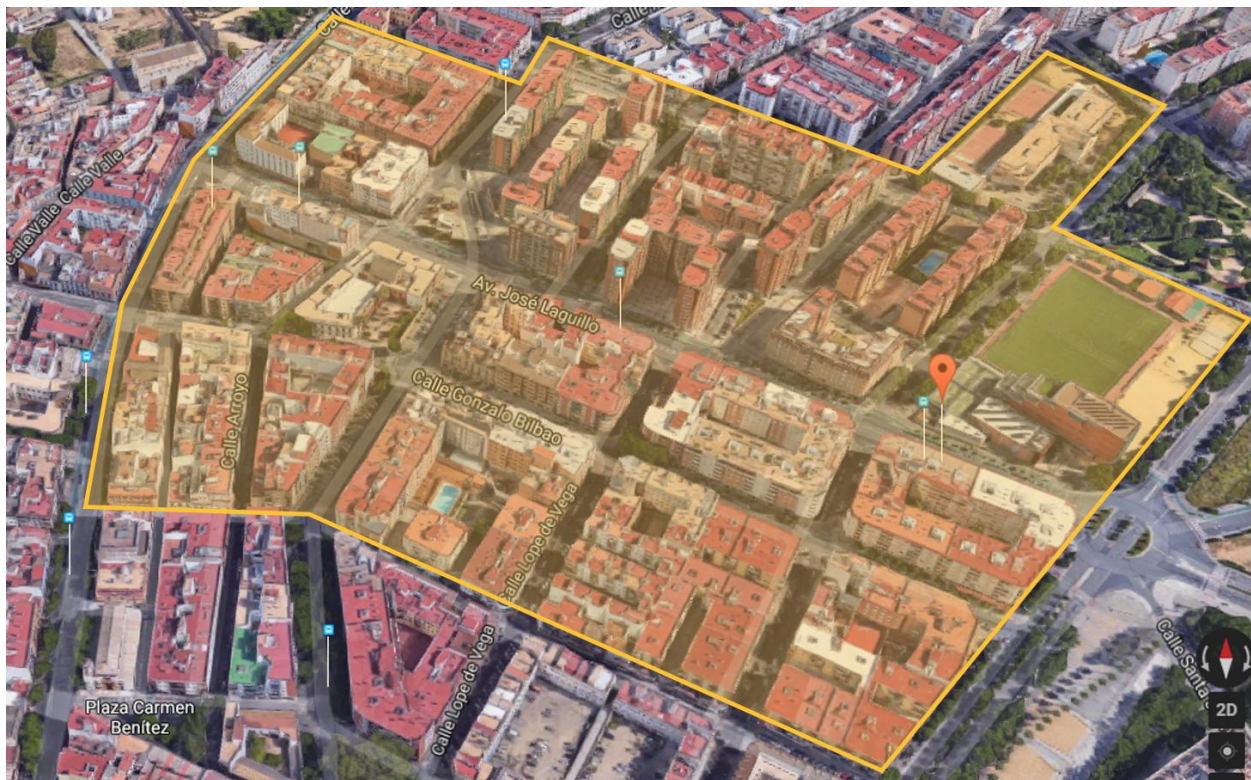


Figura 3.1 Área del distrito seleccionado

3.2 Características de los edificios

En primer lugar, se han numerado los edificios residenciales aleatoriamente del 1 al 190. Posteriormente, para cada uno de éstos junto con los edificios terciarios se han calculado las características que se describen en detalle en las siguientes secciones y se encuentran recogidas en el Anexo I “Características de los edificios”.

3.2.1 Superficie de cubierta disponible

Mediante el Catastro de la ciudad de Sevilla, se ha determinado cual es la superficie neta disponible para la instalación de módulos fotovoltaicos. Para ello se ha determinado la superficie bruta total y posteriormente se ha descontado el área correspondiente a huecos de ascensores, chimeneas, extractores de aire, etc. mediante inspección visual a través del Catastro de la ciudad.

La siguiente figura muestra un ejemplo de cómo se ha determinado dicho proceso, donde la región sombreada en amarillo refleja la superficie no disponible para este edificio en particular.

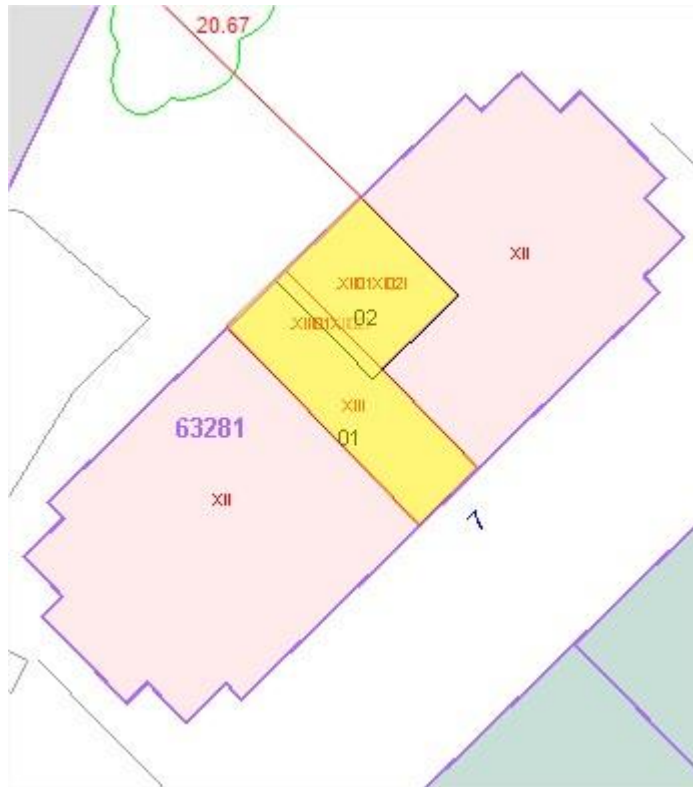


Figura 3.2 Ejemplo de una superficie no disponible de un edificio

Se han tomado varios edificios a los cuales se le ha calculado el área no disponible debido a los factores comentados anteriormente y se ha comprobado cómo en algunos edificios se perdía entre un 7% y un 13% de la superficie total, haciendo una media de la superficie no disponible se llegó a que se perdía aproximadamente un 10% de la superficie por estos obstáculos.

Por lo tanto, extrapolando esta reducción del área disponible a todo el distrito, se puede decir que la superficie fotovoltaica neta corresponde a un 90% de la superficie total disponible en la cubierta de los edificios del distrito. Este dato será de gran importancia posteriormente para emplearlo en el cálculo de la generación de energía fotovoltaica.

3.2.2 Número de plantas, año de construcción y altura

El número de plantas de cada bloque y su año de construcción respectivo se ha consultado de nuevo en el Catastro de Sevilla. El número de plantas no incluye la planta baja, puesto que se ha considerado que en este nivel se encuentran los locales propios de la zona.

Por otro lado, la altura se ha determinado considerando una altura de 3 metros por planta. Por tanto, la altura total de un edificio es el resultado de multiplicar por 3 metros el número de plantas más uno, correspondiente a la planta baja comercial.

$$\text{Altura} = 3 \cdot (n^{\circ}\text{plantas} + 1)$$

3.2.3 Transmitancia térmica de cubierta, muros y suelo

La transmitancia térmica es la medida de calor que atraviesa un elemento constructivo por unidad de superficie y diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. Se simboliza con la letra U y su unidad es $W/(m^2K)$.

El empleo de la herramienta CE3 (programa para la calificación simplificada de la eficiencia energética) ha permitido determinar la información constructiva del distrito en función de la zona climática y el año de construcción de cada edificio. Se ha recogido los datos de la transmitancia térmica de la cubierta, muros y suelo para cada edificio.

La zona climática correspondiente a Sevilla es la B4, según el Código Técnico de la Edificación, documento básico HE1 del Ahorro de la Energía [10].

Datos generales

Datos Administrativos | Datos generales | Energías Renovables, Factores de Paso | Imágenes | Pruebas, Comprobaciones, Inspecciones

Tipo de edificio

Vivienda Unifamiliar

Bloque Número de viviendas: 0

Es una vivienda en un bloque

Edificio terciario pequeño y mediano

Gran edificio terciario

Es un local en un edificio terciario

Año de construcción

Anterior a 1900 Entre 1979 y 2006

Entre 1900 y 1940 Entre 2006 y 2013

Entre 1940 y 1960 Posterior a 2013

Entre 1960 y 1979

Definición Geométrica

Tipología

Por superficies y orientaciones

Con ayuda de planos

Importación LIDER/CALENER/HULC

Tipo de Certificado Energético

Estado Actual Propuesta Modificación

Localidad, Datos Climáticos

Comunidad autónoma: Editar en datos administrativos del proyecto

Provincia: Editar en datos administrativos del proyecto

Localidad: Editar en datos administrativos del proyecto

Altitud: m

Zona climática: B4

Peninsular Extrapesininsular

Ventilación del edificio

Se acepta el valor de ventilación por defecto (0,63 renovaciones por hora)

Aceptar Cancelar

Figura 3.3 Datos generales del programa CE3

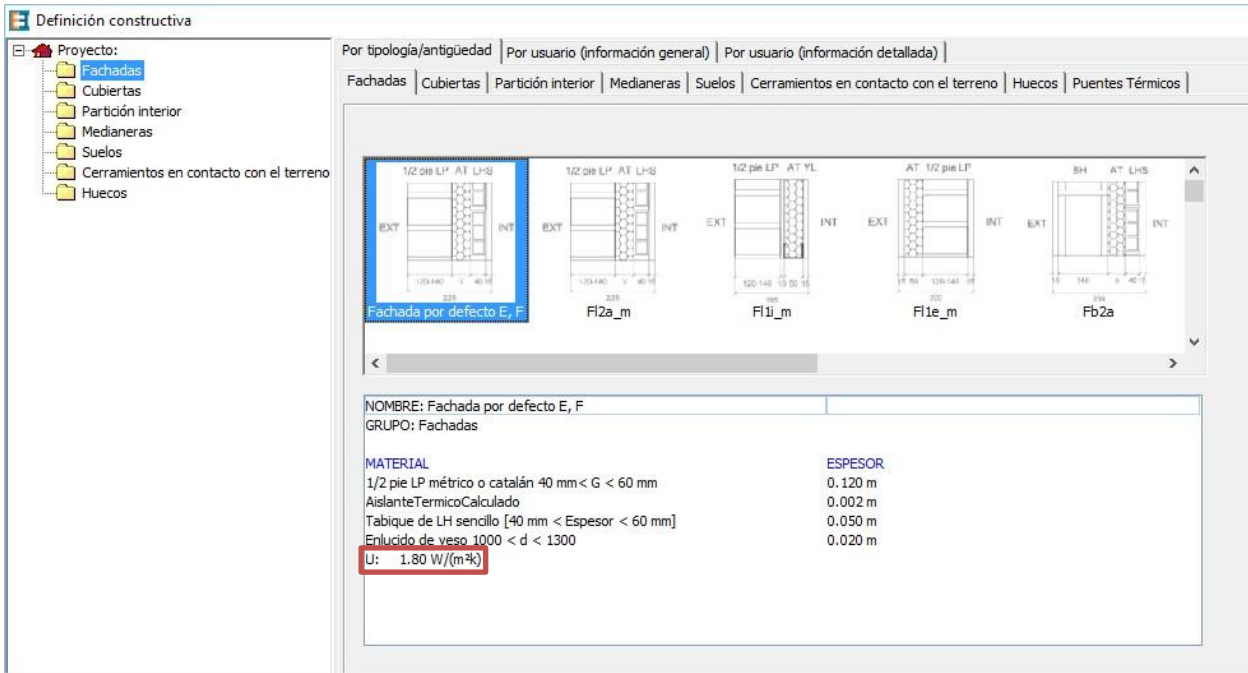


Figura 3.4 Ejemplo de los datos constructivos del programa CE3

3.2.4 Acristalamiento

El acristalamiento es el porcentaje de la fachada que está cubierto por ventanas. Este parámetro se ha estimado a través de la herramienta Google Maps. Se han tomado varios edificios de la zona y se ha visto la superficie total de la fachada. Posteriormente, se ha calculado la superficie de ventanas de la misma fachada. Con la superficie total y la de ventanas, se ha determinado el porcentaje de acristalamiento de la fachada. Se ha comprobado como en una primera aproximación este porcentaje rondaba el 22 % para los edificios tomados. Sin embargo, este valor será afinado para los edificios representativos como se explicará en la siguiente sección.



Figura 3.5 Ejemplo del cálculo de acristalamiento

3.2.5 Superficie de transferencia, volumen y compacidad

La superficie de transferencia es aquella que está expuesta a intercambios de calor con ambiente exterior, es decir, no se cuentan las superficies colindantes con los edificios contiguos. Por lo tanto, la superficie de transferencia de cada edificio será la suma de las superficies de las fachadas y la cubierta y en caso de los locales comerciales se suma el suelo.

El volumen hace referencia a la dimensión completa de cada edificio.

La compacidad es el cociente entre el volumen total del edificio y su superficie de transferencia.

$$\text{Compacidad} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Superficie Transferencia}}$$

3.3 Clasificación de los edificios

Como bien se ha indicado con anterioridad, los edificios terciarios quedan divididos en Centro de Salud, Hotel, Instituto, Anexo de Bellas Artes y Gimnasio. Por su parte, los edificios residenciales han sido clasificados en 15 tipos diferentes para poder desarrollar el estudio de manera más simplificada. Los 15 edificios representativos serán llamados “Faros” a partir de ahora y los edificios representados “Gemelos” con la finalidad evitar posibles confusiones.

Los Faros han sido elegidos en base al año de construcción, el número de caras expuestas al ambiente y la orientación de éstas. A cada edificio “Gemelo” se le asigna su “Faro” correspondiente por similitud de estas características.

La tabla 3.1 “Clasificación de los edificios” recoge para cada Faro la orientación de las caras expuestas al ambiente y el año de construcción, parámetros en base a los que se han clasificado los Gemelos.

Tabla 3.1 Clasificación de los edificios

Faro	Orientación de las caras expuestas	Año de construcción
1	todo el bloque expuesto	1981
2	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noroeste} \\ \textit{noreste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	1987
3	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noroeste} \\ \textit{suroeste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	2005
4	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noreste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	1997
5	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noroeste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	2002
6	suroeste	1974
7	noreste	1974
8	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{suroeste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	1988
9	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noreste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	2005
10	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noroeste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	1976
11	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noreste} \\ \textit{suroeste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	1969
12	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noroeste} \\ \textit{noreste} \end{array} \right.$	1975
13	suroeste	1960
14	oeste	1969
15	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{noreste} \\ \textit{noroeste} \\ \textit{suroeste} \end{array} \right.$	1970

4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Gracias a la recogida de los datos anteriormente mencionados, se han llevado a cabo una serie de simulaciones para calcular la demanda de cada uno de los edificios y locales. Así se ha podido determinar la demanda total del distrito en estudio. Esta demanda estará dividida en calefacción y refrigeración.

Las simulaciones se han llevado a cabo mediante el programa DSGCODE, herramienta creada por el Departamento de Termotecnia de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla para la definición simplificada, geométrica, constructiva y operacional de edificios. Su finalidad es obtener las demandas energéticas de calefacción y refrigeración bajo unas condiciones de ocupación, operación y clima definidas a continuación.

Los datos de entrada del programa se dividen en tres tipos:

1. Datos generales de localización y clima.

Estos datos corresponden a la situación y clima de la región de Andalucía dentro de la capital de provincia de Sevilla. Esta pestaña será igual para todas las edificaciones del distrito.



Figura 4.1 Datos generales del programa DSGCODE

2. Definición de la envolvente.

En esta pestaña se introduce la superficie y altura del nivel que se desea simular. Se añaden tantas construcciones como superficies exteriores, anotando su área expuesta, el porcentaje de hueco, U de cerramientos, U de hueco, factor de hueco y factor solar con elementos de sombra.

La transmitancia térmica de hueco y factor solar son $U_{\text{hueco}}=5.7\text{W/m}^2\text{K}$ y $g=0.85$ para todas las construcciones, datos tomados de un informe del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) [11].

Para cada construcción hay que definir sus obstáculos propios y remotos. L es la distancia a la que encontraría un obstáculo cada rayo y H la altura que presenta este obstáculo. Los rayos se lanzan a 22.5° , $66.7.5^\circ$, 112.5° y 157.5° desde la superficie de referencia de la construcción, como se puede apreciar en la siguiente figura:

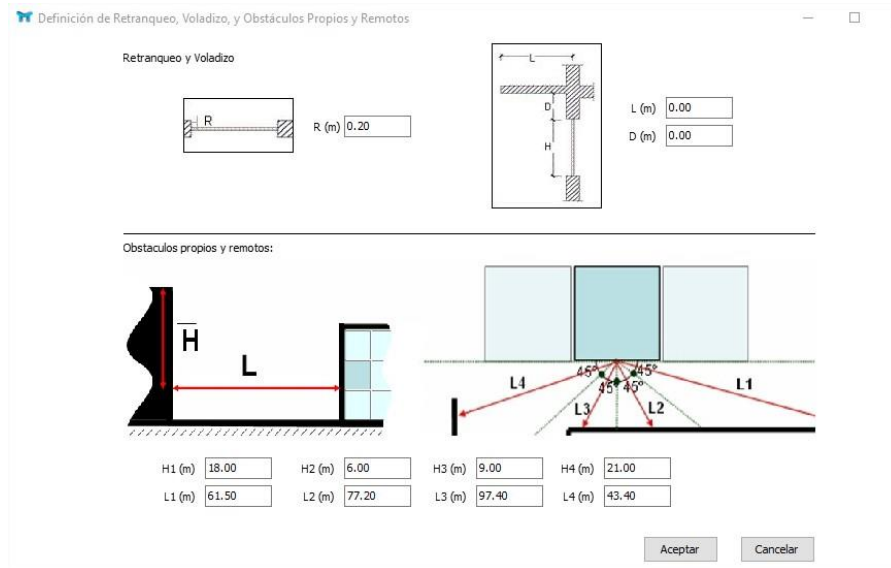


Figura 4.2 Obstáculos propios y remotos del programa DSGCODE



Figura 4.3 Ejemplo de obstáculos propios y remotos

3. Otros datos.

Este apartado hace referencia al funcionamiento de la calefacción y la refrigeración a lo largo de un día. Hay que añadir la ocupación y consumo de iluminación y equipos durante las 24h.

La calefacción o refrigeración se encontrará en funcionamiento en cualquiera de los edificios (residenciales o terciarios) siempre que exista ocupación. En el caso de que el nivel esté desocupado, no será necesario su funcionamiento.

Los resultados obtenidos muestran la demanda horaria anual en W, tomando signo negativo la demanda de calefacción y positivo la de refrigeración.

A continuación, se va a definir cada uno de los apartados 2 y 3 para cada edificio, ya que tienen que satisfacer necesidades diferentes.

4.1 Demanda de edificios residenciales

La demanda de cada edificio viene determinada por la siguiente expresión:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} = n^{\circ} \text{plantas} * \text{Demanda}_{\text{planta}} + \text{Demanda}_{\text{cubierta}}$$

En esta expresión el número de plantas no incluye la última, puesto que esta última planta es la denominada cubierta. Teniendo en cuenta esto, se ha calculado la superficie total de plantas intermedias y de cubiertas por separado de cada tipo de edificio, señalando que en este caso en las superficies de los Gemelos se incluyen las superficies de las plantas intermedias y cubiertas de su correspondiente Faro.

La tabla 4.1 mostrada a continuación recoge el conjunto de superficies intermedias y de cubierta correspondiente a cada Gemelo, las cuales incluyen las superficies intermedias y de cubierta de sus respectivos Faros:

Tabla 4.1 Superficies intermedias y de cubierta de cada tipo de edificio

TIPO	SUP.INTERMEDIAS (m ²)	SUP.CUBIERTA (m ²)
1	30550	4909
2	21689	4445
3	25293	6336
4	32691	8711
5	36991	8762
6	7298	1389
7	6340	1386
8	11001	2613
9	13578	3527
10	8250	2629
11	13786	3817
12	8296	2111
13	6154	2464
14	9294	3726
15	4567	1343
TOTAL	235778	58168

A continuación, se va a proceder a explicar durante las siguientes secciones el procedimiento seguido para la realización de las simulaciones en cada uno de los Faros.

4.1.1 Demanda de la planta intermedia

4.1.1.1 Ocupación

Se ha tomado el valor 117,21 W/persona del Código Técnico de la Edificación [12], junto con los valores de ocupación (W/m²) para cada hora de un día, véase la Figura 4.3. Sabiendo la superficie de la planta intermedia se determina la ocupación en número de habitantes multiplicando los valores de ocupación (W/m²) por la superficie (m²) dividiendo entre el valor del CTE (W/persona), es decir:

$$\text{Ocupación (nº ocupantes)} = \text{Ocupación}_{\text{horaria}} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \cdot \text{Sup}_{\text{intermedia}} (\text{m}^2) / 117,21 (\text{W/persona})$$

La ocupación total será la suma de la ocupación sensible y latente.

4.1.1.2 Iluminación y equipos

Los valores de iluminación y equipos fueron obtenidos a partir del Código Técnico de la Edificación [12]. Para ello, se eligió un perfil de uso residencial de baja densidad de las fuentes internas y un periodo de utilización de 24 horas.

Los valores de ocupación, iluminación y equipos en W/m^2 se pueden ver en la siguiente Figura:

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	–	–	–	–	–
Junio a Septiembre	27	–	–	25	27
Octubre a Diciembre	–	–	–	–	–
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	–	–	–	–	–
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m^2)					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m^2)					
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m^2)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Equipos (W/m^2)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Ventilación verano¹					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
Ventilación invierno²					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

Figura 4.4 Valores de ocupación, iluminación y equipos para residenciales

En el Anexo II “Ocupación, iluminación y equipos” se pueden ver los datos finales de ocupación, iluminación y equipos para cada tipo de edificio residencial.

Los resultados obtenidos se dividen entre la superficie intermedia de planta del Faro que ha servido de referente y se multiplica por la superficie intermedia total de planta de los Gemelos (que como ya se ha dicho previamente incluye la superficie del Faro), obteniéndose de esta manera la demanda absoluta intermedia de los edificios pertenecientes a un tipo particular.

4.1.2 Demanda de la cubierta

Se añade una construcción más a las ya existentes con orientación cubierta. Los valores de ocupación, iluminación y equipos se mantienen constantes. De igual manera, los resultados se dividen entre la superficie de cubierta de Faro y se multiplica por la superficie de cubierta total de Gemelos.

Se suman los resultados obtenidos de la planta intermedia y cubierta, obteniendo la demanda del conjunto de edificios que corresponde a cada Faro. La suma de estos resultados para los 15 Faros permite alcanzar la demanda total de calefacción y refrigeración de los residenciales del distrito. Estas demandas se calculan a nivel mensual y anual.

Tabla 4.2 Demanda mensual y anual de refrigeración, calefacción y total de residenciales en MWh

Mes	Refrigeración (MWh)	Calefacción (MWh)	Total (MWh)
Enero	0	2847	2847
Febrero	0	1935	1935
Marzo	0	1057	1057
Abril	0	298	298
Mayo	0	0	0
Junio	959	0	959
Julio	2427	0	2427
Agosto	2467	0	2467
Septiembre	1225	0	1225
Octubre	0	98	98
Noviembre	0	1133	1133
Diciembre	0	2784	2784
TOTAL	7078	10153	17231

Demanda de edificios docentes

Los datos para la simulación de los edificios docentes (Instituto de Secundaria y Anexo de Bellas Artes) se han tomado a partir de referencias de un edificio de la Universidad Pablo de Olavide, donde se contaba con el consumo real de iluminación y equipos, número de personas medio a lo largo de un día y el número de personas máximo. Con estos datos se ha hecho una extrapolación a los edificios citados anteriormente.

4.1.3 Demanda del Instituto de Secundaria

La demanda viene determinada a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} = \text{Demanda}_{\text{suelo}} + n^{\circ}\text{plantas} \cdot \text{Demanda}_{\text{planta}} + \text{Demanda}_{\text{cubierta}}$$

Se sabe que el instituto tiene una planta baja (denominada suelo en la ecuación anterior), una planta intermedia y una planta cubierta. Para cada planta se ha tenido en cuenta sus correspondientes valores de transmitancias de suelo, muros y cubierta, respectivamente, teniendo en cuenta lo siguiente:

4.1.3.1 Ocupación

A través de la página web del instituto [13], se ha hecho un análisis de la ocupación del edificio, teniendo en cuenta que las clases de ESO y bachillerato se imparten de 8.15h a 15.45h y las de ciclos formativos de 16.15 a 20.30, por lo que se supondrá una carga máxima de 8h a 15h y media de 16h a 21h. Se ha estimado la ocupación máxima del centro teniendo en cuenta el personal y alumnado:

- Alumnado:
 - 3 clases de ESO por cada curso, un total de 12 clases con unos 30 alumnos por clase.
 - 5 clases de BACH con unos 25 alumnos por clase.
 - 2 clases de APSD (Atención a Personas en Situación de Dependencia), con unos 20 alumnos.
 - 2 clases de IS (Integración Social), con unos 20 alumnos por clase.

Haciendo un total de 565 alumnos.

- Profesorado: cuenta con un total de 44 profesores.
- Personal de administración y servicios:
 - 2 administradoras.
 - 6 personas de limpieza.
 - 3 personas de ordenanza.

Equipo directivo, 5 personas que incluyen director, jefe de estudios, secretario...

El conjunto de todos ellos, hacen un total de 208 personas por planta, es decir, 14m²/persona. Dicho valor es compatible con el Código Técnico de la Edificación que estipula un mínimo de 10m²/persona. Con el número de personas máximo por planta se ha visto la ocupación a partir de extrapolaciones de los datos del edificio de la Universidad Pablo de Olavide.

4.1.3.2 Iluminación y equipos

De manera similar, los datos de iluminación y equipos son extrapolaciones en función de las 208 personas como máximo estimadas por planta.

Definición geométrica y constructiva de edificios

Datos Generales Definición de la Envolvente Otros Datos

Horarios de funcionamiento

CALEFACCIÓN																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	

REFRIGERACIÓN																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	

Fuentes internas

OCUPACIÓN [Núm. Ocupantes]																								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	200.	200.	200.	200.	208.	208.	200.	200.	200.	50.0	90.0	90.0	90.0	90.0	6.00	0.00	0.00	
ILUMINACIÓN [W/m ²]																								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	3.42	3.42	3.42	3.42	3.55	3.55	3.42	3.42	3.42	0.85	1.54	1.54	1.54	1.54	0.10	0.00	0.00	
EQUIPOS [W/m ²]																								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	3.42	3.42	3.42	3.42	3.55	3.55	3.42	3.42	3.42	0.85	1.54	1.54	1.54	1.54	0.10	0.00	0.00	

Temperaturas de consigna, Periodos de verano e invierno, y Ventilación nocturna durante los meses de verano

Temperatura de consigna alta (°C) Mes inicial de aplicación de sombras y ventilación nocturna

Temperatura de consigna baja (°C) Mes final de aplicación de sombras y ventilación nocturna

Impedir que se proporcione calefacción en periodo de aplicación de sombras móviles y refrigeración en el de no aplicación Ventilación nocturna en régimen de verano (1/h)

Figura 4.5 Otros datos de DSGCODE del instituto de secundaria

4.1.4 Demanda del Anexo de Bellas Artes

Como bien se ha indicado anteriormente, la demanda del edificio viene determinada por la expresión:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} = \text{Demanda}_{\text{suelo}} + n^{\circ}\text{plantas} \cdot \text{Demanda}_{\text{planta}} + \text{Demanda}_{\text{cubierta}}$$

Teniendo en cuenta que el Anexo de Bellas Artes sólo cuenta con una planta suelo y una planta cubierta, no tiene plantas intermedias.

4.1.4.1 Ocupación

La ocupación se ha realizado con extrapolaciones de los datos de la Universidad Pablo de Olavide. Para ello, en primer lugar, ha sido necesario calcular el número de personas máximas. La máxima ocupación se ha estimado con ayuda del CTE, el cual nos dice que como mínimo debe haber 10m²/persona. Como el Anexo cuenta con una superficie de 2607 m² por planta, hace un total de 261 personas máximas en cada nivel del edificio.

4.1.4.2 Iluminación y equipos

Al igual que en el caso del Instituto, la demanda de iluminación y equipos del Anexo de Bellas Artes se ha calculado con las extrapolaciones de la UPO.

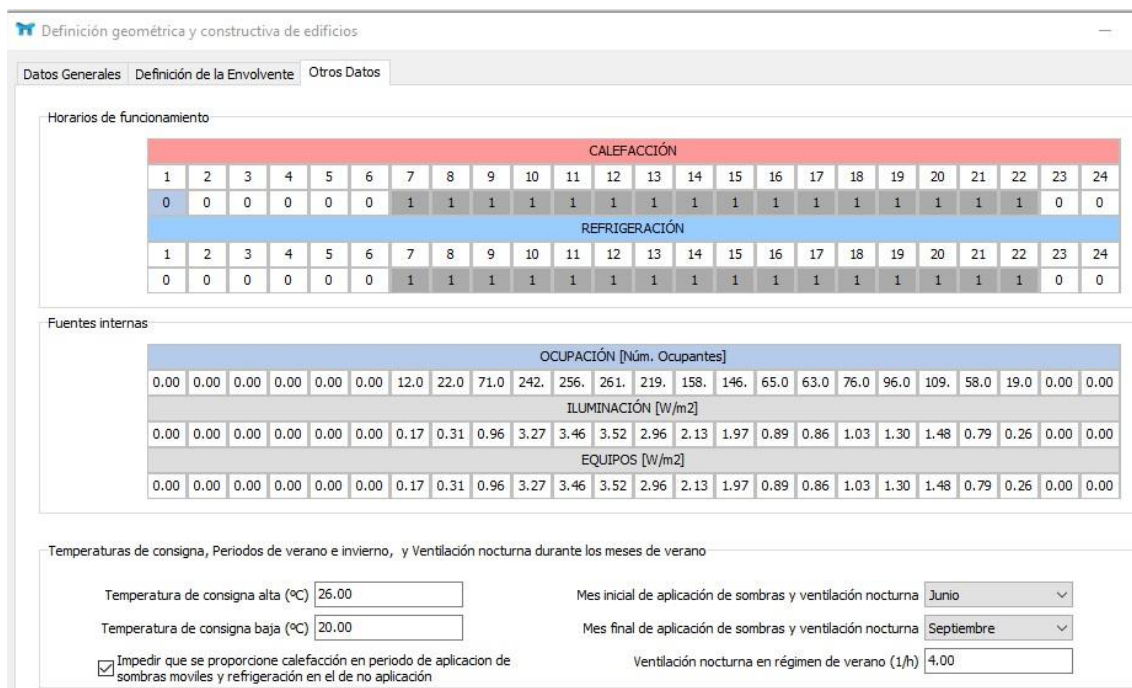


Figura 4.6 Otros datos de DSGCODE del Anexo de Bellas Artes

4.2 Demanda del gimnasio

Para determinar la demanda del Gimnasio, se hace uso de la ecuación:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} = \text{Demanda}_{\text{suelo}} + n^{\circ}\text{plantas} \cdot \text{Demanda}_{\text{planta}} + \text{Demanda}_{\text{cubierta}}$$

Se sabe que el gimnasio cuenta con una planta baja (suelo), tres plantas intermedias y una cubierta.

Se han tomado datos sacados de la plataforma Autodesk Knowledge Network [14]. La evolución, en tanto por uno, de ocupación de un gimnasio a lo largo del día se muestra en la Figura inferior, donde 1 representa ocupación máxima y 0 sin ocupación.

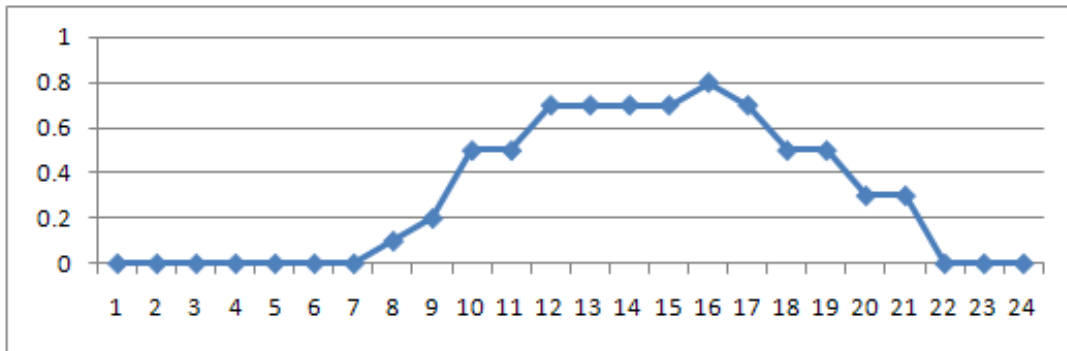


Figura 4.7 Evolución de ocupación del gimnasio

También se han consultado los datos ocupación, 33.5 personas por cada 100 metros cuadrados de área y datos de iluminación y equipos en W/m^2 como se muestra en la Figura siguiente:

Gymnasium	
Parameter	Value
Occupancy Schedule	Retail
People/100 sq. M.	33.5
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	10.8
Equipment Load Density (W/sq. M.)	10.8
Infiltration Flow (ACH)	0.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	13
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 4.8 Datos de ocupación, iluminación y equipos del gimnasio

4.2.1 Ocupación

En primer lugar, se ha calculado el máximo número de personas permitido por planta, sabiendo que el gimnasio cuenta con una superficie de $1170 m^2$, a este valor se le ha aplicado la proporción de ocupación correspondiente en función de la hora del día.

4.2.2 Iluminación y equipos

Al igual que en el apartado anterior, el valor máximo de iluminación y equipos, $10.8W/m^2$ para ambos casos ha sido multiplicado por la proporción de ocupación conveniente puesto que estos valores de iluminación y equipos dependen principalmente de la ocupación del edificio, a más ocupación más iluminación y equipos.

Resultando de esta manera los siguientes datos para el programa DSGCODE:

Definición geométrica y constructiva de edificios

Datos Generales Definición de la Envolvente Otros Datos

Horarios de funcionamiento

CALEFACCIÓN																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

REFRIGERACIÓN																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Fuentes internas

OCUPACIÓN [Núm. Ocupantes]																							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.0	78.0	195.	195.	274.	274.	274.	274.	313.	274.	195.	195.	117.	117.	0.00	0.00	0.00

ILUMINACIÓN [W/m2]																							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	2.16	5.40	5.40	7.56	7.56	7.56	7.56	8.64	7.56	5.40	5.40	3.24	3.24	0.00	0.00	0.00

EQUIPOS [W/m2]																							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	2.16	5.40	5.40	7.56	7.56	7.56	7.56	8.64	7.56	5.40	5.40	3.24	3.24	0.00	0.00	0.00

Temperaturas de consigna, Periodos de verano e invierno, y Ventilación nocturna durante los meses de verano

Temperatura de consigna alta (°C) Mes inicial de aplicación de sombras y ventilación nocturna

Temperatura de consigna baja (°C) Mes final de aplicación de sombras y ventilación nocturna

Impedir que se proporcione calefacción en periodo de aplicación de sombras móviles y refrigeración en el de no aplicación Ventilación nocturna en régimen de verano (1/h)

Figura 4.9 Otros datos de DSGCODE del gimnasio

4.3 Demanda del hotel

La demanda del Hotel Catalonia se ha realizado de manera completamente análoga a la demanda del gimnasio. Los datos han sido proporcionados de Autodesk Knowledge Network [14].

La evolución de ocupación, en tanto por uno, de un hotel estándar es la mostrada en la Figura inferior:

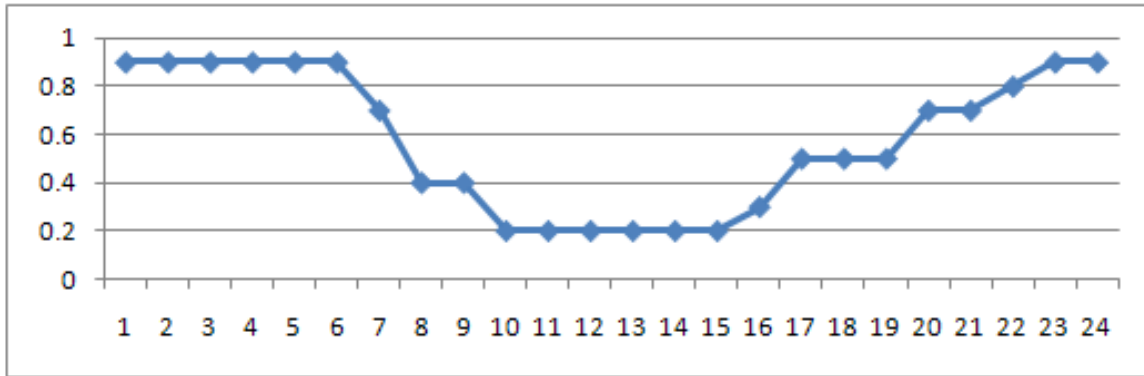


Figura 4.10 Evolución de ocupación del hotel

Los datos de ocupación, iluminación y equipos están señalados en el siguiente cuadro:

Hotel

Parameter	Value
Occupancy Schedule	Hotel/Motel
People/100 sq. M.	2.5
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Heat Gain (W/person)	59
Lighting Load Density (W/sq. M.)	10.9
Equipment Load Density (W/sq. M.)	5.4
Infiltration Flow (ACH)	0.1
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	5.5
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	3.7
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Figura 4.11 Datos de ocupación, iluminación y equipos del hotel

Para determinar la demanda del Hotel Catalonia, también se ha empleado la expresión:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} = \text{Demanda}_{\text{suelo}} + n^{\circ}\text{plantas} \cdot \text{Demanda}_{\text{planta}} + \text{Demanda}_{\text{cubierta}}$$

Se sabe que el hotel cuenta con una planta baja (suelo), cuatro plantas intermedias y una cubierta.

4.3.1 Ocupación

El máximo número de personas que ocupan los 533 m² de superficie por planta del hotel. Este valor ha sido multiplicado por el porcentaje en tanto por uno correspondiente a cada hora.

4.3.2 Iluminación y equipos

Como en el caso del gimnasio, los valores de iluminación y equipos horarios son el producto de 10.9 W/m² y 5.4 W/m² respectivamente, por la evolución de ocupación.

Los resultados obtenidos son los mostrados a continuación:

Definición geométrica y constructiva de edificios

Datos Generales Definición de la Envolvente Otros Datos

Horarios de funcionamiento

CALEFACCIÓN																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

REFRIGERACIÓN																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuentes internas

OCUPACIÓN [Núm. Ocupantes]																							
23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	18.0	10.0	10.0	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	7.00	13.0	13.0	13.0	18.0	18.0	21.0	23.0	23.0

ILUMINACIÓN [W/m ²]																							
9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	7.63	4.36	4.36	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	3.27	5.45	5.45	5.45	7.63	7.63	8.72	9.81	9.81	

EQUIPOS [W/m ²]																							
4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	3.78	2.16	2.16	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.62	2.70	2.70	2.70	3.78	3.78	4.32	4.86	4.86	

Temperaturas de consigna, Periodos de verano e invierno, y Ventilación nocturna durante los meses de verano

Temperatura de consigna alta (°C) Mes inicial de aplicación de sombras y ventilación nocturna

Temperatura de consigna baja (°C) Mes final de aplicación de sombras y ventilación nocturna

Impedir que se proporcione calefacción en periodo de aplicación de sombras móviles y refrigeración en el de no aplicación Ventilación nocturna en régimen de verano (1/h)

Figura 4.12 Otros datos de DSGCODE del hotel

4.4 Demanda del centro de salud

Al igual que en el resto de edificios terciarios, la demanda del edificio viene determinada por la expresión:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} = \text{Demanda}_{\text{suelo}} + n^{\circ}\text{plantas} \cdot \text{Demanda}_{\text{planta}} + \text{Demanda}_{\text{cubierta}}$$

Se sabe que el centro de salud cuenta con una planta suelo, tres plantas intermedias y una cubierta

4.4.1 Ocupación

La ocupación se ha realizado con extrapolaciones de los datos reales de un centro de salud de Écija. Para ello, en primer lugar, ha sido necesario calcular el número de personas máximas. La máxima ocupación se ha estimado con ayuda del CTE, el cual nos dice que como mínimo debe haber 10 m²/persona. Como el Centro de Salud cuenta con una superficie de 1466 m² por planta, hace un total de 147 personas máximas en cada nivel del edificio.

4.4.2 Iluminación y equipos

De manera similar a lo ocurrido en el caso de ocupación, los datos de iluminación y equipos han sido extrapolados de los resultados obtenidos del centro de salud de Écija. La siguiente Figura recoge los datos de ocupación, iluminación y equipos:

Horarios de funcionamiento

CALEFACCIÓN																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
REFRIGERACIÓN																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Fuentes internas

OCUPACIÓN [Núm. Ocupantes]																							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.0	29.0	74.0	118.	118.	118.	118.	118.	118.	118.	118.	74.0	44.0	44.0	29.0	0.00	0.00	0.00
ILUMINACIÓN [W/m ²]																							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26	2.44	6.22	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EQUIPOS [W/m ²]																							
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26	2.44	6.22	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	6.22	3.70	3.70	2.40	0.00	0.00	0.00

Figura 4.13 Otros datos de DSGCODE del centro de salud

Una vez recogidos todos los datos de los edificios terciarios de la zona, se ha procedido a hacer las pertinentes simulaciones de cada uno de ellos y calcular sus respectivas demandas. El conjunto de la suma de las demandas conforma la demanda de edificios terciarios del distrito recogidos en la tabla:

Tabla 4.3 Demanda mensual y anual de refrigeración, calefacción y total de terciarios en MWh

Mes	Refrigeración (MWh)	Calefacción (MWh)	Total (MWh)
Enero	0	301	301
Febrero	0	201	201
Marzo	0	105	105
Abril	0	35	35
Mayo	0	1	1
Junio	140	0	140
Julio	314	0	314
Agosto	310	0	310
Septiembre	155	0	155
Octubre	0	12	12
Noviembre	0	114	114
Diciembre	0	294	294
TOTAL	919	1063	1982

4.5 Demanda de locales

Para el cálculo de la demanda de los diferentes tipos de locales que componen la heterogeneidad del distrito elegido, se ha tomado un local modelo y sus datos han sido extrapolados al conjunto, puesto que el área total de locales es conocida a través del catastro de Sevilla. Se ha supuesto una intensidad media del local con 12 horas de funcionamiento.

4.5.1 Ocupación

Se ha tomado el valor 117,21 W/persona del Código Técnico de la Edificación [12], junto con los valores de ocupación (W/m^2) para cada hora de un día, véase la Figura 4.14. Sabiendo la superficie del local modelo es de $346 m^2$ se determina la ocupación en número de habitantes multiplicando los valores de ocupación (W/m^2) por la superficie (m^2) dividiendo entre el valor del CTE (W/persona), es decir:

$$\text{Ocupación (nº ocupantes)} = \text{Ocupación}_{\text{horaria}} \left(\frac{W}{m^2} \right) \cdot \text{Sup}_{\text{local}} (m^2) / 117,21 \text{ (W/persona)}$$

La ocupación total será la suma de la ocupación sensible y latente.

4.5.2 Iluminación y equipos

Los valores de iluminación y equipos fueron obtenidos a partir del Código Técnico de la Edificación [12]. Para ello, se eligió un perfil de uso no residencial de intensidad media de las fuentes internas y un periodo de utilización de 12 horas.

Los valores de ocupación, iluminación y equipos en W/m^2 se pueden ver en la siguiente Figura:

USO NO RESIDENCIAL: 12 h	BAJA			MEDIA			ALTA		
	1-6 15-16 21-24	7-14	17-20	1-6 15-16 21-24	7-14	17-20	1-6 15-16 21-24	7-14	17-21
Temp Consigna Alta (°C)									
Laboral y Sábado	-	25	25	-	25	25	-	25	25
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp Consigna Baja (°C)									
Laboral y Sábado	-	20	20	-	20	20	-	20	20
Festivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ocupación sensible (W/m^2)									
Laboral	0	2,00	2,00	0	6,00	6,00	0	10,00	10,00
Sábado	0	2,00	0	0	6,00	0	0	10,00	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ocupación latente (W/m^2)									
Laboral	0	1,26	1,26	0	3,79	3,79	0	6,31	6,31
Sábado	0	1,26	0	0	3,79	0	0	6,31	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iluminación (%)									
Laboral	0	100	100	0	100	100	0	100	100
Sábado	0	100	0	0	100	0	0	100	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipos (W/m^2)									
Laboral	0	1,50	1,50	0	4,50	4,50	0	7,50	7,50
Sábado	0	1,50	0	0	4,50	0	0	7,50	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación (%)									
Laboral	0	100	100	0	100	100	0	100	100
Sábado	0	100	0	0	100	0	0	100	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.14 Valores de ocupación, iluminación y equipos para residenciales

Los resultados obtenidos se dividen entre la superficie del local modelo que ha servido de referente y se multiplica por la superficie total de locales (que como ya se ha dicho previamente incluye la superficie del local modelo), obteniéndose de esta manera la demanda absoluta de los locales pertenecientes al distrito.

La siguiente tabla recoge la demanda mensual y total de refrigeración y calefacción, así como la total de los locales:

Tabla 4.4 Demanda mensual y anual de refrigeración, calefacción y total de locales en MWh

Mes	Refrigeración (MWh)	Calefacción (MWh)	Total (MWh)
Enero	0	377	377
Febrero	0	248	248
Marzo	0	122	122
Abril	0	26	26
Mayo	0	0	0
Junio	289	0	289
Julio	608	0	608
Agosto	657	0	657
Septiembre	445	0	445
Octubre	0	13	13
Noviembre	0	115	115
Diciembre	0	368	368
TOTAL	1999	1269	3269

5 ANÁLISIS DEL POTENCIAL FOTOVOLTAICO

En esta sección se va estudiar la posición óptima de los módulos fotovoltaicos con la intención de captar la radiación solar que permita generar la energía eléctrica máxima. Para este estudio se tendrán que tener en cuenta las posibles pérdidas de espacio de las superficies de cubierta y del rendimiento del sistema, los cuales se estudiarán mediante coeficientes de reducción.

5.1 Coeficientes de reducción del área

Se parte de un área potencial de las cubiertas (A_p), esta área ha sido calculada mediante el Catastro de la ciudad de Sevilla, como ya se indicó en la primera sección del presente trabajo. A esta área se le aplica una serie de factores de reducción arquitectónicos y solares, los cuales mermarán el área fotovoltaica disponible. Estos coeficientes de reducción han sido tomados del artículo “*Assessment of the photovoltaic potential at urban level based on 3D city models: A case study and new methodological approach*” [15]. En la Figura 5.1 se puede ver la estructura del diagrama de flujo de los coeficientes de reducción empleados:

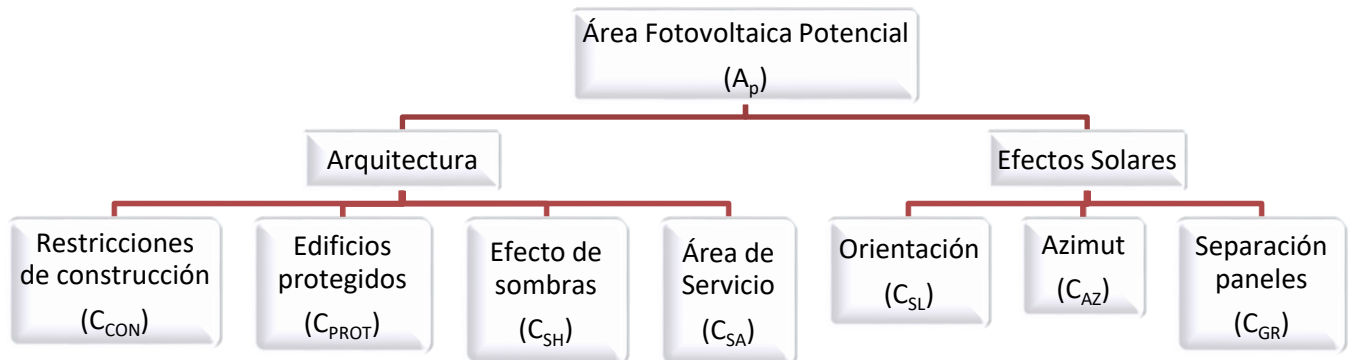


Figura 5.1 Diagrama de flujo de los coeficientes de reducción del área

A continuación, se va a proceder a la definición de estos parámetros y el valor que han tomado, pero antes se va a establecer una nueva variable: factor de utilización (U). El factor de utilización es el coeficiente empleado para determinar el valor eficaz aprovechable del área fotovoltaico potencial:

$$U = C_{CON} \cdot C_{PROT} \cdot C_{SH} \cdot C_{SA} \cdot C_{SL} \cdot C_{AZ} \cdot C_{GR}$$

De esta manera el área disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos resulta del producto del área potencial y el factor de utilización:

$$A_D = U \cdot A_p$$

5.1.1 Por arquitectura

5.1.1.1 Restricciones de construcción

Los elementos ocupados en las cubiertas como huecos de ascensores, extractores de aire, accesos a las cubiertas, etc., reducen considerablemente la superficie disponible para la colación de los módulos fotovoltaicos. Previamente ya se comentó que se disminuía el área un 10%, este valor es el resultado de comprobar el área total de las superficies de cubierta entre el área total de las superficies de cubierta tras descontarle los espacios comentados. Este coeficiente de reducción se simboliza con C_{CON} . $C_{CON}=0.9$.

5.1.1.2 Edificios protegidos

Existen edificios en los cuales está prohibido su alteración debido a su valor histórico, monumental o arquitectónico. En este estudio no se han considerado edificios protegidos. Se simboliza con C_{PROT} . $C_{PROT}=1$.

5.1.1.3 Efecto de las sombras

Las sombras bien por los propios tejados u otros edificios cercanos hacen que la superficie disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos se vea reducida en ciertas zonas. Se simboliza con C_{SH} . Tras varias lecturas [15] se ha tomado el valor $C_{SH}=0.7$.

5.1.1.4 Área de servicio

Es necesario un espacio para el mantenimiento y acceso a las instalaciones de módulos fotovoltaicas. Este espacio dependerá del ángulo de inclinación y separaciones entre paneles colocados. Se simboliza con C_{SA} . En este caso tiene un valor de $C_{SA}=0.97$ porque se aprovecha la separación entre paneles para el acceso de mantenimiento, como se comentará en su correspondiente sección.

5.1.2 Por efectos solares

5.1.2.1 Orientación y acimut

Dependiendo de la posición de los módulos fotovoltaicos, la irradiación incidente se puede captar en mejores condiciones. Para determinar la orientación y acimut óptimos de nuestros módulos se ha realizado un pequeño estudio en el que se han valorado dos situaciones viables, teniendo en cuenta que la mayoría de los edificios del distrito se encuentran orientados unos 28° hacia el oeste desde el sur, como se puede comprobar mediante la herramienta Google Compass, programa que permite determinar la orientación de los edificios de una zona con Google Maps.

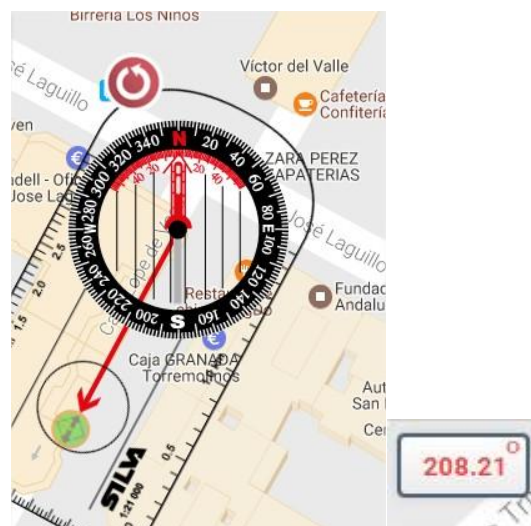


Figura 5.2 Orientación de los edificios del distrito

CASO A

En este caso se colocarán los paneles fotovoltaicos siguiendo la orientación de los edificios, es decir, 28° hacia el oeste. De esta manera se pretende aprovechar al máximo la superficie disponible de la cubierta de éstos. La siguiente ilustración muestra este caso sobre un edificio tipo:

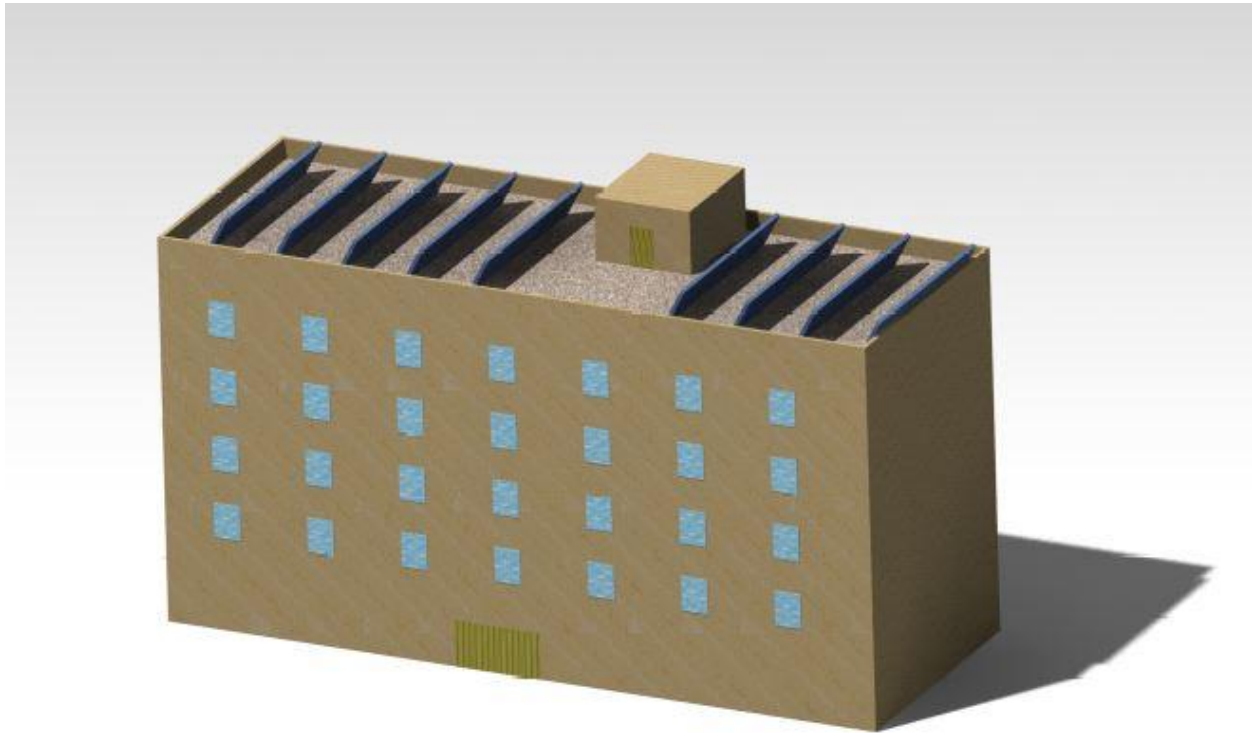


Figura 5.3 Módulos orientados 28° hacia el oeste

CASO B

En el caso B se colocarán los paneles fotovoltaicos en orientación sur, sabiendo que parte de la superficie disponible se verá reducida en un 16 % de manera aproximada, como se puede apreciar en la Figura 5.4. Cabe destacar que este valor no es constante puesto que cada tipo de edificio tiene una forma diferente y, por tanto, su porcentaje de reducción variará. Este porcentaje ha sido la media tras haber calculado la reducción en varios edificios representativos.

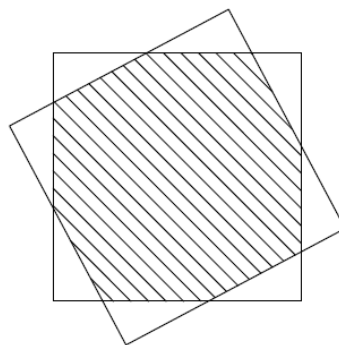


Figura 5.4 Reducción del área por orientación

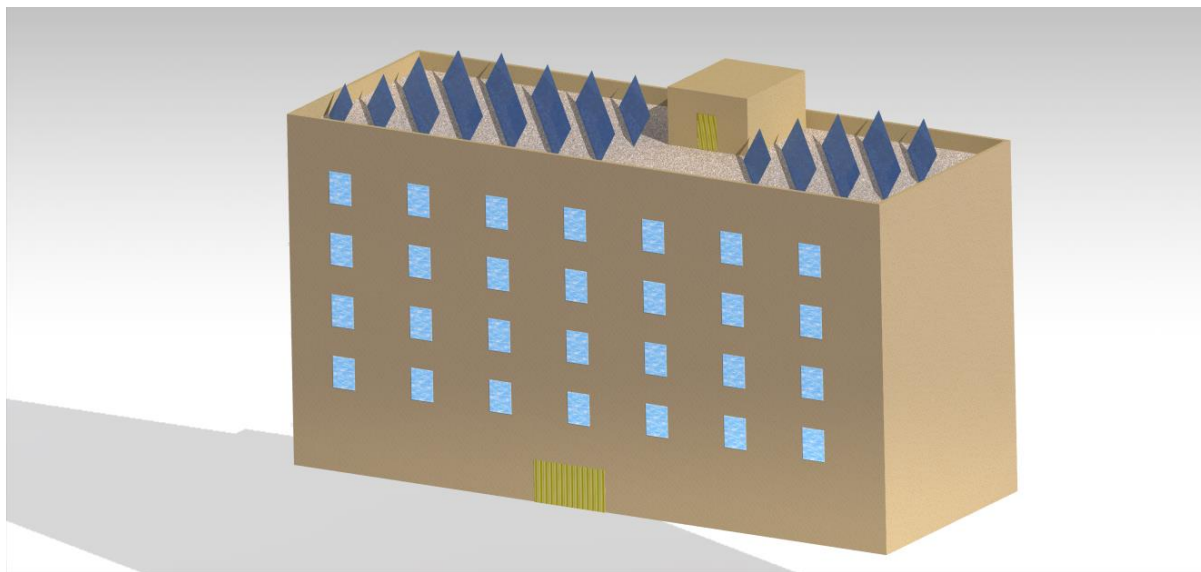


Figura 5.5 Módulos orientados hacia el sur

PVGIS es un sistema de evaluación geográfico de recursos solares y rendimiento de la tecnología fotovoltaica. Este programa cuenta con una base de datos de radiación solar a partir de datos climatológicos homogeneizados para Europa. La base de datos consiste en mapas ráster que representan doce medias mensuales y una media anual de sumas diarias de irradiación global para superficies horizontales, así como inclinadas. Un ejemplo de los datos proporcionados por este programa son los mostrados en la tabla 5.2, cuyos parámetros se encuentran explicados al final de la misma.

Teniendo en cuenta estos datos se ha determinado el factor de utilización y con él la superficie fotovoltaica disponible, la irradiación incidente anual con el programa PVGIS y la energía fotovoltaica anual producida (para la cual harán falta más parámetros que se definirán próximamente).

Tabla 5.1 Energía anual producida en dos casos de diferente orientación

Caso	Á _P (m ²)	UTILIZACIÓN	A _D (m ²)	I _{PV} (kWh/m ²)	(MWh)
A	74488	0.25	18409.7	2138.9	4849
B	74488	0.21	15464.2	2182.7	4157

Como se puede apreciar, la energía producida a lo largo de un año es menor para el caso B, donde los módulos se encuentran orientados hacia el sur. Por ello, se ha tomado como mejor opción la A y se ha obtenido la radiación incidente mediante el programa PVGIS, datos que se utilizarán para el resto de cálculos.

En el Anexo III “Comparativa de orientación” se recoge el proceso completo llevado a cabo para la comparación de los casos A y B.

En la tabla 5.2 “Irradiación incidente para una inclinación de 33° y orientación de 28° hacia el oeste, se recogen los datos proporcionados por el programa PVGIS para unas placas cuya posición sea estas especificaciones.

Tabla 5.2 Irradiación incidente para una inclinación de 33° y orientación de 28°

Sistema fijo: inclinación=33°, orientación=28°				
MES	E _d (kWh)	E _m (kWh)	H _d (kWh/m ²)	H _m (kWh/m ²)
ENERO	3.02	93.7	4.01	124
FEBRERO	3.7	104	4.97	139
MARZO	4.31	134	5.97	185
ABRIL	4.43	133	6.24	187
MAYO	4.73	147	6.79	211
JUNIO	4.97	149	7.28	218
JULIO	5.1	158	7.58	235
AGOSTO	4.95	153	7.38	229
SEPTIEMBRE	4.36	131	6.33	190
OCTUBRE	3.89	121	5.49	170
NOVIEMBRE	3.26	97.7	4.43	133
DICIEMBRE	2.85	88.4	3.8	118
MEDIA ANUAL	4.13	126	5.86	178

Donde E_d es la producción media diaria de electricidad para un sistema dado. E_m es la producción mensual media de electricidad del sistema dado, H_d es el promedio de suma diaria de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado y H_m es la suma media de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema. Como las pérdidas por orientación y acimut se incluyen ya en el programa, se asumen que estos factores de reducción serán nulos. Estas pérdidas se simbolizan como C_{AZ}, las de acimut y C_{SL}, las de orientación. Los valores resultan pues C_{AZ}=1 y C_{SL}=1.

5.1.2.2 Separación de los paneles fotovoltaicos

A diferencia con el punto 5.1.1.3. Efectos de las sombras, este epígrafe hace referencia a las sombras producidas por los propios paneles fotovoltaicos. Se simboliza con C_{GR} y viene dado por la siguiente expresión, donde β es el ángulo de inclinación y SBR, relación de retroceso, con valor 3. C_{GR}=0.40

$$C_{GR} = \frac{1}{\cos \beta + SBR \cdot \sin \beta}$$

5.1.2.3 Ratio de paneles fotovoltaicos

Existen dos tipos de paneles, los fotovoltaicos y los solares térmicos. En este estudio se consideran solo paneles fotovoltaicos. Se simboliza como C_{PV}, la proporción en tanto por uno de paneles fotovoltaicos y como C_{ST} la de los paneles solares térmicos. Resulta pues, C_{PV}=1 y C_{ST}=0.

5.2 Coeficientes de reducción del potencial fotovoltaico

Estos coeficientes de reducción son debidos a las limitaciones tecnológicas que presentan los módulos fotovoltaicos.

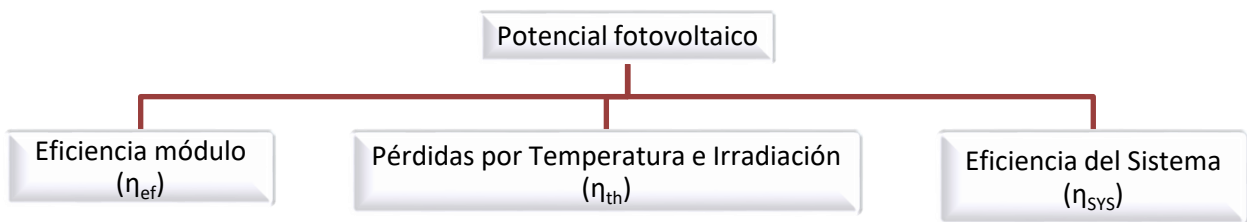


Figura 5.6 Diagrama de flujo de los coeficientes de reducción del potencial fotovoltaico

5.2.1 Eficiencia del módulo

La eficiencia del módulo es la relación entre la energía solar incidente y la energía eléctrica capaz de producir bajo condiciones estándar, condiciones normalizadas para realizar ensayos:

- Radiación solar: 1000 W/m².
- Temperatura de la célula fotovoltaica: 25°C.
- Valor espectral: 1.5 AM.
- Incidencia Normal.

La eficiencia del módulo seleccionado es 16.29%, como se puede ver en la hoja técnica de especificaciones, véase Anexo IV “Ficha técnica de los módulos fotovoltaicos”. Se simboliza como η_{ef} . $\eta_{ef}=0.1629$.

5.2.2 Pérdidas de temperatura e irradiación

Los módulos fotovoltaicos presentan pérdidas de potencia por el aumento de la temperatura de operación. Esta temperatura de operación cambia en función de los factores ambientales de irradiancia, temperatura ambiente y velocidad del viento. Se simboliza como η_{th} . Para este caso se ha estimado un valor de $\eta_{th}=0.9$ [15].

5.2.3 Eficiencia del sistema

Existe otro conjunto de pérdidas que en este estudio se han denominado pérdidas del sistema. Éstas son debidas al ensuciamiento (se pierde energía ya que la energía incidente disminuye), conexión (también se denominan pérdidas de mismatch y tienen su origen en la conexión módulos en serie con diferentes corrientes de cortocircuito, el peor limitará al corriente de la serie), cableado (originadas por las caídas de tensión cuando una determinada corriente circula por un conductor de un material y sección determinados), rendimiento del inversor y por no cumplimiento de la potencia nominal (los módulos fotovoltaicos de un proceso de fabricación no son idénticos, sino que su potencia nominal referida a las condiciones estándar de medidas presenta una determinada dispersión).

En su conjunto se ha considerado un 16% de pérdidas, por lo que la eficiencia, η_{SYS} es del 84%; $\eta_{SYS}=0.84$.

El siguiente cuadro recoge el conjunto de pérdidas totales que afectan a la producción de energía solar fotovoltaica:

Tabla 5.3 Coeficientes de reducción

Área fotovoltaica disponible		Potencial fotovoltaico	
C_{CON}	0.9	η_{ef}	0.1629
C_{PROT}	1	η_{th}	0.9
C_{SH}	0.7	η_{SYS}	0.84
C_{SA}	0.97		
C_{AZ}	1		
C_{SL}	1		
C_{GR}	0.4		
C_{PV}	1		
C_{ST}	0		

Una vez obtenidos estos parámetros, se puede definir la energía eléctrica fotovoltaica producida por los módulos como:

$$E_{PV} = I_{PV} \cdot A_D \cdot \eta_{ef} \cdot \eta_{th} \cdot \eta_{SYS} = I_{PV} \cdot U \cdot A_P \cdot \eta_{ef} \cdot \eta_{th} \cdot \eta_{SYS}$$

Donde I_{PV} es la irradiación incidente sobre los módulos fotovoltaicos medida en kWh/m², dato proporcionado por el programa PVGIS y A_D es el área disponible final como se ha explicado con anterioridad.

6 RESULTADOS

6.1 Demanda

La demanda del distrito se puede calcular como la suma de demandas de los edificios residenciales, terciarios y locales. Viendo los resultados obtenidos en el epígrafe 4 “Análisis de la demanda”, se ha obtenido el valor de la demanda total del distrito en la siguiente tabla:

Tabla 6.1 Demanda de refrigeración, calefacción y total mensual del distrito en MWh

	Refrigeración (MWh)	Calefacción (MWh)	Total (MWh)
ENERO	0	3526	3526
FEBRERO	0	2384	2384
MARZO	0	1284	1284
ABRIL	0	360	360
MAYO	0	1	1
JUNIO	1388	0	1388
JULIO	3348	0	3348
AGOSTO	3435	0	3435
SEPTIEMBRE	1825	0	1825
OCTUBRE	0	123	123
NOVIEMBRE	0	1362	1362
DICIEMBRE	0	3446	3446
ANUAL	9996	12485	22481

Otra manera de plasmar la demanda del distrito es viendo la evolución de la demanda total del distrito en función de cada tipo de edificio (residenciales, terciarios y locales), como se puede ver en la siguiente gráfica:

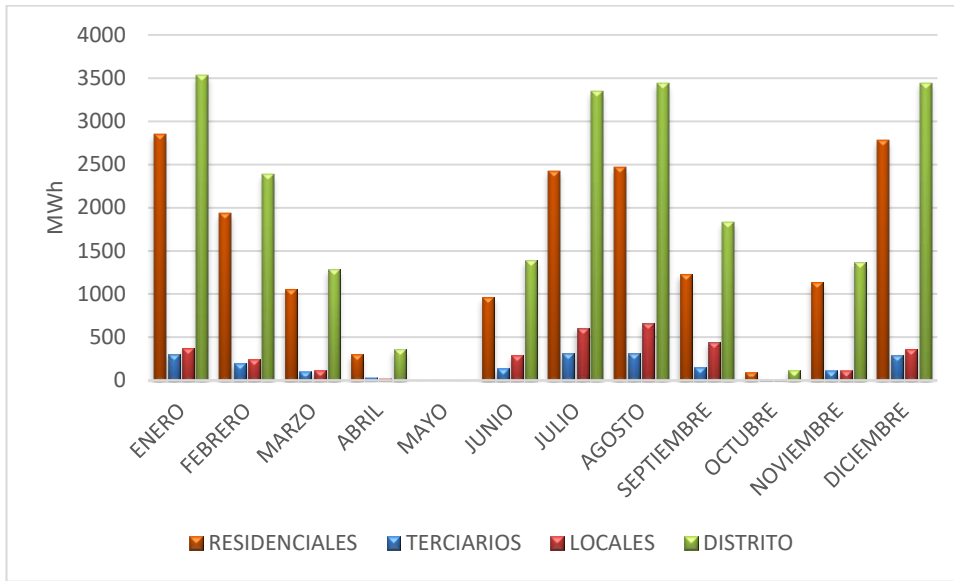


Figura 6.1 Evolución de la demanda en función del tipo de edificio

Anualmente, la demanda de refrigeración, calefacción y total de los edificios residenciales, terciario y de los locales se encuentra recogida en el siguiente gráfico:

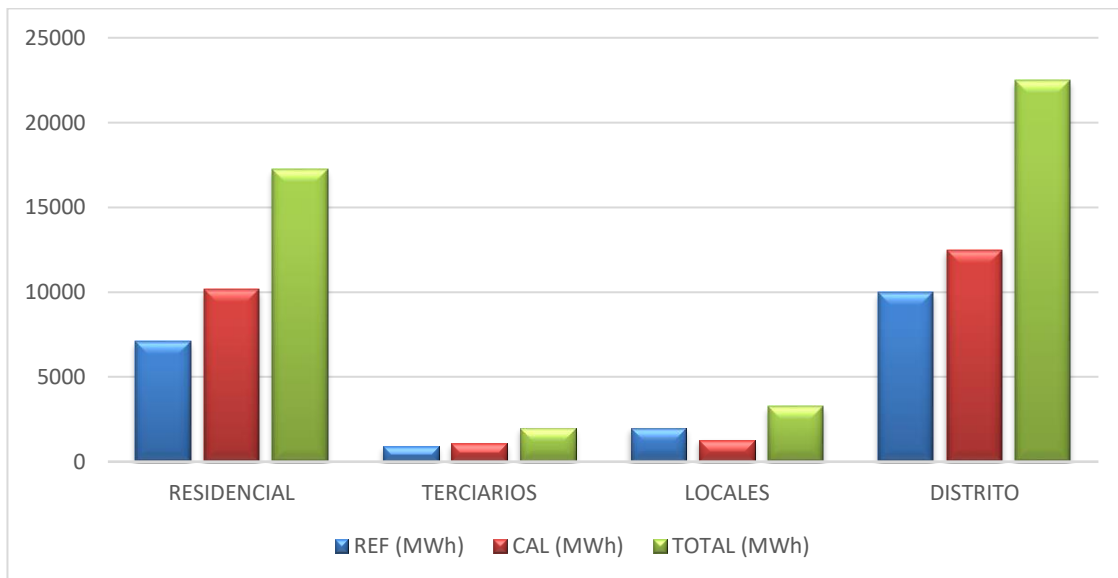


Figura 6.2 Demanda de los edificios del distrito en MWh

Como se refleja en el gráfico anterior, el mayor demandante de energía total son los edificios residenciales. Haciendo los cálculos, anualmente se puede comprobar que el 76,65 % de la demanda es debida a los edificios residenciales, el 14,54 % a los locales y finalmente el 8,81 % es debido a los edificios terciarios.

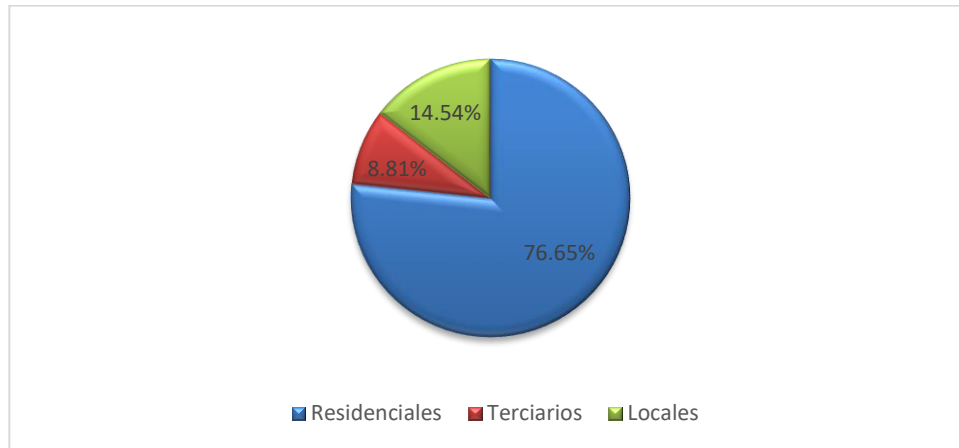


Figura 6.3 Estructura de la demanda del distrito

Sin embargo, este resultado no es completamente representativo. Para un análisis más exhaustivo de la demanda total del distrito, se va a determinar la demanda por metro cuadrado de superficie de cada tipo de edificio.

La demanda de cada edificio en kWh/m² es la suma de cada planta en kWh/m², en otras palabras, para determinar la demanda en estas unidades se ha partido de los resultados del DSGCODE en kWh por tipo de planta (baja, intermedia o cubierta) y se ha dividido entre la superficie total de cada tipo:

$$\text{Demanda}_{\text{edificio}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Demanda}_{\text{suelo}}(\text{kWh})}{\text{Superficie}_{\text{suelo}}(\text{m}^2)} + \frac{\text{Demanda}_{\text{intermedia}}(\text{kWh})}{\text{Superficie}_{\text{intermedia}}(\text{m}^2)} + \frac{\text{Demanda}_{\text{cubierta}}(\text{kWh})}{\text{Superficie}_{\text{cubierta}}(\text{m}^2)}$$

Aplicando esta fórmula a los edificios residenciales, terciarios y locales, se obtiene la demanda de climatización para el distrito completo, quedando recogidos sus valores en la siguiente tabla:

Tabla 6.2 Demanda de los edificios del distrito en kWh/m²

	REFRIGERACIÓN (kWh/m ²)	CALEFACCIÓN (kWh/m ²)	TOTAL (kWh/m ²)
RESIDENCIALES	24	35	59
TERCIARIOS	30	34	64
LOCALES	49	31	79
DISTRITO	27	34	61

Obsérvese que la demanda del distrito no es la suma de las demandas de refrigeración y calefacción, puesto que el denominador de los sumandos no es el mismo ya que cada tipo de edificio tiene una superficie diferente.

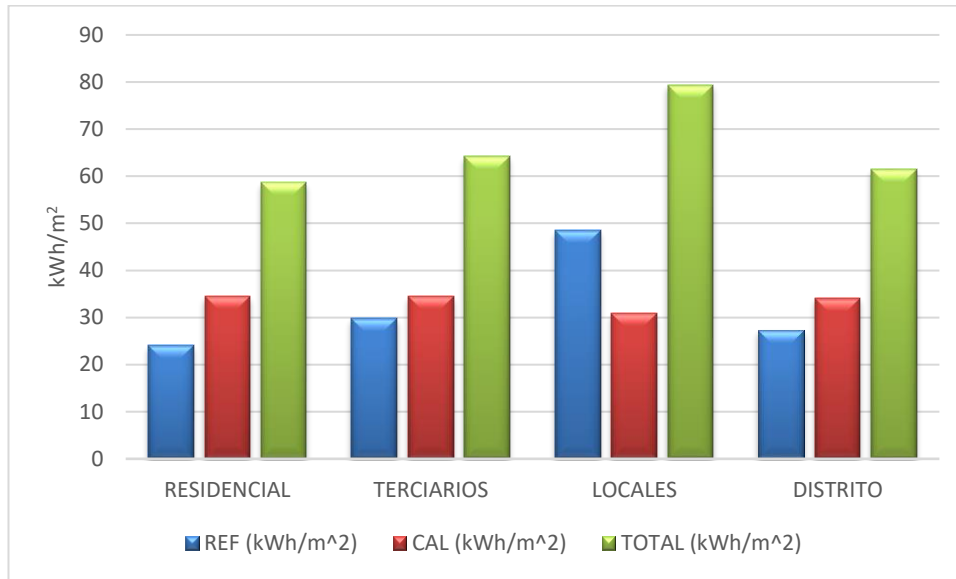


Figura 6.4 Demanda de los edificios del distrito en kWh/m²

Con estos resultados se puede afirmar que, aunque la mayor parte de la demanda global sea de los edificios residenciales, la demanda por metro cuadrado de superficie es mayor en caso en los locales, puesto que presentan mayor demanda debido a los perfiles de uso iluminación y equipos.

6.2 Generación de energía eléctrica fotovoltaica

Como bien se comentó en el epígrafe anterior, para una superficie de cubierta total del distrito en la que se puedan instalar módulos fotovoltaicos de 74.488 m² y un factor de utilización de 0,25, la superficie neta resultante disponible fotovoltaica es de 18.409,7 m².

Por otro lado, teniendo en cuenta que los paneles fotovoltaicos tienen una orientación de 28° hacia el oeste y una inclinación de 33°, los valores de radiación que vienen determinados por la plataforma PVGIS (véase tabla 5.2) y la energía producida fotovoltaica mensuales son:

Tabla 6.3 Irradiancia y energía fotovoltaica potencial mensual

	IPVD (kWh/m ² /día)	DÍAS (Nºdías)	IPV (kWh/m ²)	EPV (MWh)
ENERO	4.01	31	124.31	282
FEBRERO	4.97	28	139.16	316
MARZO	5.97	31	185.07	420
ABRIL	6.24	30	187.2	424
MAYO	6.79	31	210.49	477
JUNIO	7.28	30	218.4	495
JULIO	7.58	31	234.98	533
AGOSTO	7.38	31	228.78	519
SEPTIEMBRE	6.33	30	189.9	431
OCTUBRE	5.49	31	170.19	386
NOVIEMBRE	4.43	30	132.9	301
DICIEMBRE	3.8	31	117.8	267
ANUAL	5.86	365	178	4850

Gráficamente se puede observar en la siguiente Figura, la evolución de la irradiación y la energía fotovoltaica producida a lo largo de los meses del año, los cuales son mayores durante los meses de verano, donde se puede aprovechar mejor la radiación incidente:

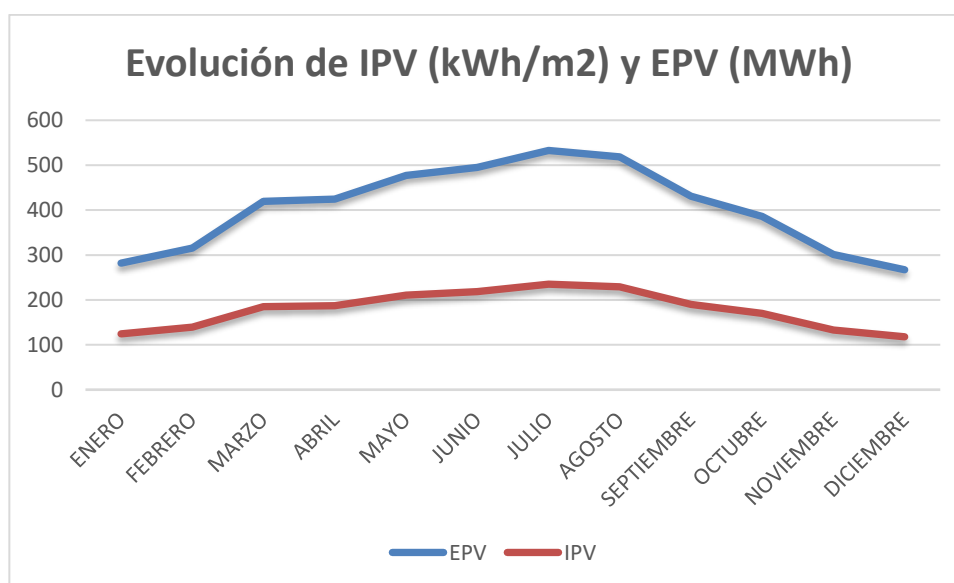


Figura 6.5 Evolución de la irradiación y la energía fotovoltaica producida mensualmente

A continuación, se va a proceder a calcular el consumo eléctrico de climatización del distrito teniendo en cuenta la demanda del mismo. La climatización del distrito va a ser proporcionada con bombas de calor que darán calor durante los meses más gélidos y darán frío durante los meses más calurosos. Las bombas de calor se han supuesto con unos parámetros EER y COP, los cuales se definen como la relación entre la potencia frigorífica o calorífica, respectivamente, y la potencia eléctrica consumida, es decir:

$$\text{EER} = \frac{\text{Potencia frigorífica}}{\text{Potencia eléctrica consumida en refrigeración}}$$

$$\text{COP} = \frac{\text{Potencia calorífica}}{\text{Potencia eléctrica consumida en calefacción}}$$

Suponiendo un valor típico de 2 para ambos parámetros, se ha calculado la potencia eléctrica consumida tanto en refrigeración como en calefacción (dependiendo de la época del año) y el porcentaje de cobertura del consumo, como se recoge en la tabla inferior:

Tabla 6.4 Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura

	EPV (MWh)	DEMANDA (MWh)	CONSUMO (MWh)	COBERTURA (%)
ENERO	282	3525.5	1763	15.99
FEBRERO	316	2384.5	1192	26.46
MARZO	420	1283.7	642	65.37
ABRIL	424	359.9	180	100.00
MAYO	477	0.7	0	100.00
JUNIO	495	1387.6	694	71.37
JULIO	533	3348.3	1674	31.82
AGOSTO	519	3434.9	1717	30.20
SEPTIEMBRE	431	1825.1	913	47.18
OCTUBRE	386	123.0	61	100.00
NOVIEMBRE	301	1361.9	681	44.25
DICIEMBRE	267	3446.0	1723	15.50
ANUAL	4850	22481.1	11241	43.15

Como se puede apreciar en la tabla anterior, al cabo de un año el consumo sería de 11.241 MWh, que frente a los 4.850 MWh ofrecidos por los módulos fotovoltaicos, hace que el porcentaje de cobertura del consumo eléctrico del distrito sea de un 43,15 %.

Durante los meses de mayor consumo del distrito, correspondiente a la etapa de invierno, la cual coincide con menor generación de energía eléctrica fotovoltaica, el porcentaje de cobertura es más bajo. Sin embargo, hay

meses en los que se llega a cubrir el 100 % de la demanda de climatización del distrito completo, concretamente durante los meses de abril, mayo y octubre donde la radiación es elevada y la demanda y el consumo eléctrico del distrito son más bajos.

En la siguiente gráfica se recoge la evolución mensual seguida a lo largo de un año de la demanda y el consumo del distrito en MWh, así como la energía fotovoltaica producida por el mismo. Se puede apreciar como en los meses de mayo y octubre la demanda y el consumo son prácticamente nulos, debido a que, en estos meses, el clima hace que no sea necesario una demanda ni de refrigeración ni de calefacción:

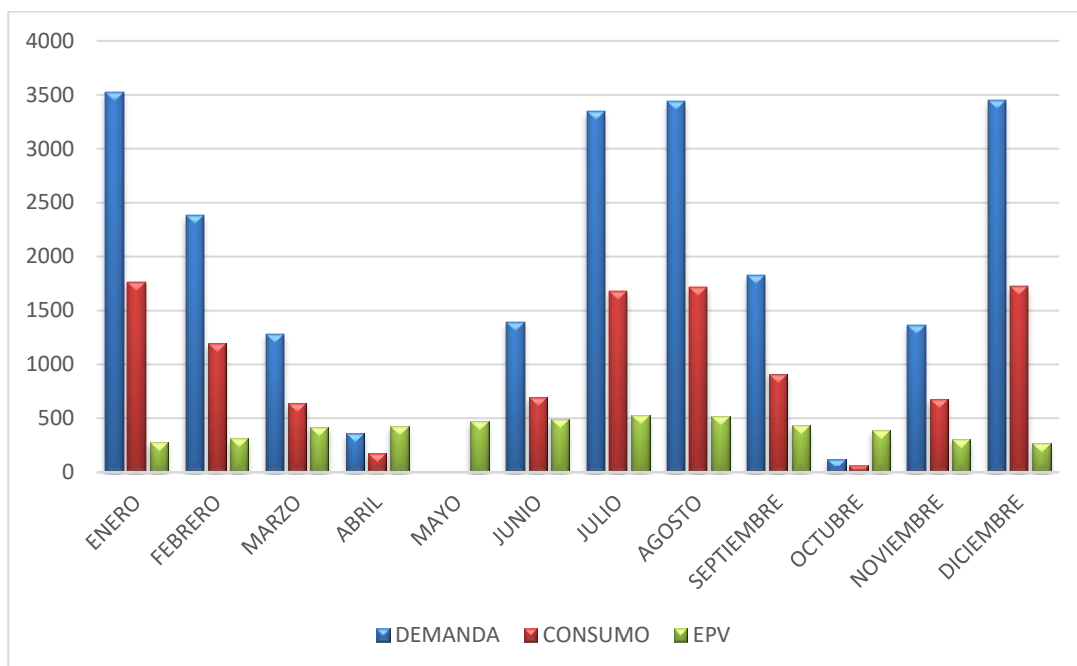


Figura 6.6 Evolución de la EPV, la demanda y el consumo del distrito en MWh

6.3 Ahorro de CO₂

En esta sección se va a estudiar el ahorro de CO₂ emitido al ambiente gracias a la colocación de los módulos fotovoltaicos en toda la superficie disponible de las cubiertas de los edificios del distrito.

6.3.1 Emisiones de CO₂ sin fotovoltaica

En el caso de no implementar los módulos fotovoltaicos, toda la electricidad se tomaría de la red, produciendo 0.37kgCO₂/kWh consumido, valor tomado a partir del documento de Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios de España, por el ministerio de Industria, Energía, Turismo y Fomento [16].

La siguiente tabla recoge las emisiones mensuales y anual que se producirían en este caso:

Tabla 6.5 Consumo eléctrico y emisiones de CO₂ sin fotovoltaica

	CONSUMO (MWh)	EMISIONES (tCO₂)
ENERO	1763	652.22
FEBRERO	1192	441.13
MARZO	642	237.48
ABRIL	180	66.58
MAYO	0	0.14
JUNIO	694	256.71
JULIO	1674	619.44
AGOSTO	1717	635.46
SEPTIEMBRE	913	337.64
OCTUBRE	61	22.75
NOVIEMBRE	681	251.95
DICIEMBRE	1723	637.51
ANUAL	11241	4159.01

6.3.2 Emisiones de CO₂ con fotovoltaica

Con la instalación de los módulos fotovoltaicos, los efectos de las emisiones se ven disminuidos. La energía consumida de la red en este caso es aquella que no se puede dar mediante fotovoltaica. Por su parte, la emisión de CO₂ atribuida a la generación fotovoltaica tiene un valor de 46g/kWh producido, según el Instituto de Energía Solar [17].

En el siguiente cuadro se muestra la energía producida por fotovoltaica, el consumo de electricidad que no se ha sido capaz de cubrir mediante los módulos fotovoltaicos, las emisiones de CO₂ debidas a la producción fotovoltaica y eléctrica y las emisiones evitadas durante los meses del año:

Tabla 6.6 Consumo, emisiones fotovoltaica y eléctrica y emisiones evitadas

	EPV	CONSUMO	EMI(PV)	EMI(ELEC)	EVITADO	
	(MWh)	(MWh)	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	%
ENERO	282	1480.93	12.96	547.94	91.31	14.00
FEBRERO	316	876.73	14.51	324.39	102.22	23.17
MARZO	420	222.24	19.30	82.23	135.95	57.25
ABRIL	424	0.00	19.52	0.00	47.06	70.68
MAYO	477	0.00	21.95	0.00	0.00	100.00
JUNIO	495	198.66	22.78	73.50	160.43	62.49
JULIO	533	1141.43	24.51	422.33	172.61	27.87
AGOSTO	519	1198.77	23.86	443.54	168.06	26.45
SEPTIEMBRE	431	482.00	19.80	178.34	139.50	41.31
OCTUBRE	386	0.00	17.75	0.00	5.00	21.97
NOVIEMBRE	301	379.62	13.86	140.46	97.62	38.75
DICIEMBRE	267	1455.93	12.29	538.69	86.53	13.57
ANUAL	4850	7436.30	223.10	2751.43	1206.29	29.00

Como se puede apreciar, anualmente se podría llegar a evitar hasta un 29% de las emisiones de CO₂ debidas a la electricidad consumida proveniente de fuentes fósiles. Existen meses donde este valor se ve superado, logrando alcanzar más del 50% como es el caso de los meses de marzo, abril y junio. Destaca por su parte el mes de mayo, en el cual se llegaría a evitar el 100% de estas emisiones gracias a las instalaciones de los módulos fotovoltaicos.

La siguiente gráfica muestra una comparativa de las emisiones de CO₂ sin y con fotovoltaica y las emisiones evitadas:

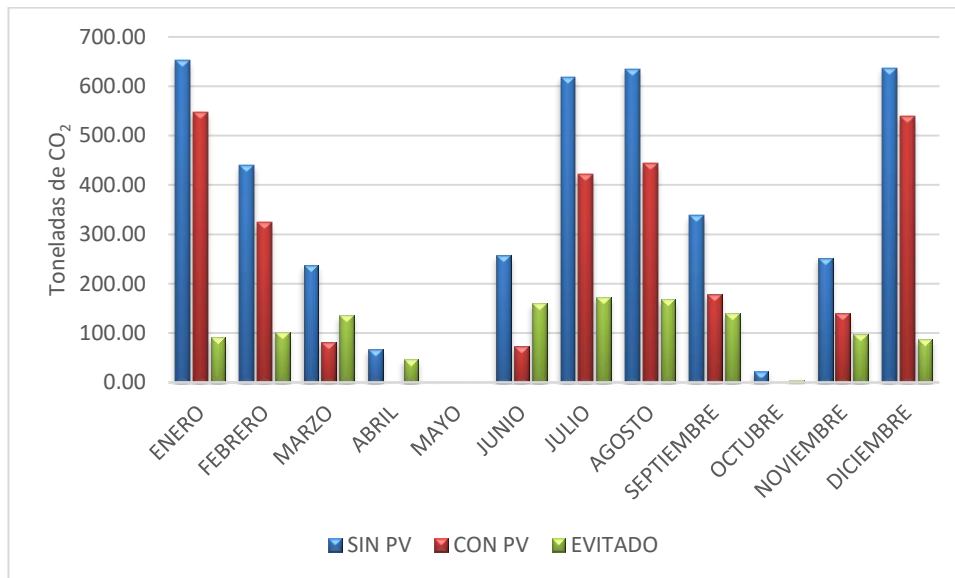


Figura 6.7 Comparativa de las emisiones de CO₂ mensuales

6.4 Análisis económico

Análogamente al ahorro de emisiones de CO₂, se ha comparado el gasto económico que supondría la implementación de los módulos fotovoltaicos en el distrito y el ahorro que conllevaría la instalación de los mismos. También se ha estimado la ganancia que se podría obtener si se vendiese el excedente de energía en los meses de mayor generación fotovoltaica.

6.4.1 Coste sin fotovoltaica

Se ha asumido un valor de 0.1722€/kWh consumido eléctrico, valor obtenido de un estudio de Estadística del Ministerio de Energía [18]. Resultando los valores mensuales y anual los reflejados en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7 Coste del consumo eléctrico sin fotovoltaica

	CONSUMO (MWh)	COSTE (€)
ENERO	1763	303548
FEBRERO	1192	205303
MARZO	642	110523
ABRIL	180	30989
MAYO	0	64
JUNIO	694	119475
JULIO	1674	288293
AGOSTO	1717	295747
SEPTIEMBRE	913	157139
OCTUBRE	61	10586
NOVIEMBRE	681	117257
DICIEMBRE	1723	296702
ANUAL	11241	1935625

6.4.2 Coste con fotovoltaica

Con la instalación de módulos fotovoltaicos, la energía consumida no tiene coste, el único coste es el de la electricidad. Como hemos visto en los meses de abril mayo y octubre hay un excedente de energía, la cual podría ser vendida a la red a un precio de 0.1231€/kWh (valor del precio de la energía fotovoltaica en Alemania), puesto que actualmente en España la venta de energía a la red no es legal.

A continuación, se recoge un cuadro con el coste y el ahorro gracias a la instalación de los módulos fotovoltaicos en el distrito:

Tabla 6.8 Evaluación del coste y ahorro de la generación de la energía eléctrica fotovoltaica

	EPV (MWh)	CONSUMO (MWh)	COSTE (€)	AHORRO (€/%)		EXCEDENTE (MWh)	GANANCIA (€)
ENERO	282	1481	255016	48532	15.99	0	0
FEBRERO	316	877	150974	54330	26.46	0	0
MARZO	420	222	38269	72254	65.37	0	0
ABRIL	424	0	0	30989	100.00	244	30093
MAYO	477	0	0	64	100.00	477	58700
JUNIO	495	199	34209	85266	71.37	0	0
JULIO	533	1141	196554	91739	31.82	0	0
AGOSTO	519	1199	206428	89318	30.20	0	0
SEPTIEMBRE	431	482	83000	74139	47.18	0	0
OCTUBRE	386	0	0	10586	100.00	324	29524
NOVIEMBRE	301	380	65371	51886	44.25	0	0
DICIEMBRE	267	1456	250712	45991	15.50	0	0
ANUAL	4850	7436	1280531	655094	33.84	1046	118317

De este cuadro se puede concluir que se puede llegar a ahorrar hasta un 33.84% al año, siendo superado el ahorro en meses como marzo, junio y septiembre con aproximadamente un 50%.

Caben destacar los meses de abril, mayo y octubre donde se conseguiría ahorrar hasta el 100% del consumo eléctrico, llegando incluso a producir un exceso de energía que produciría una ganancia de 118.317 € al año en el caso de que pudiese ser vendida.

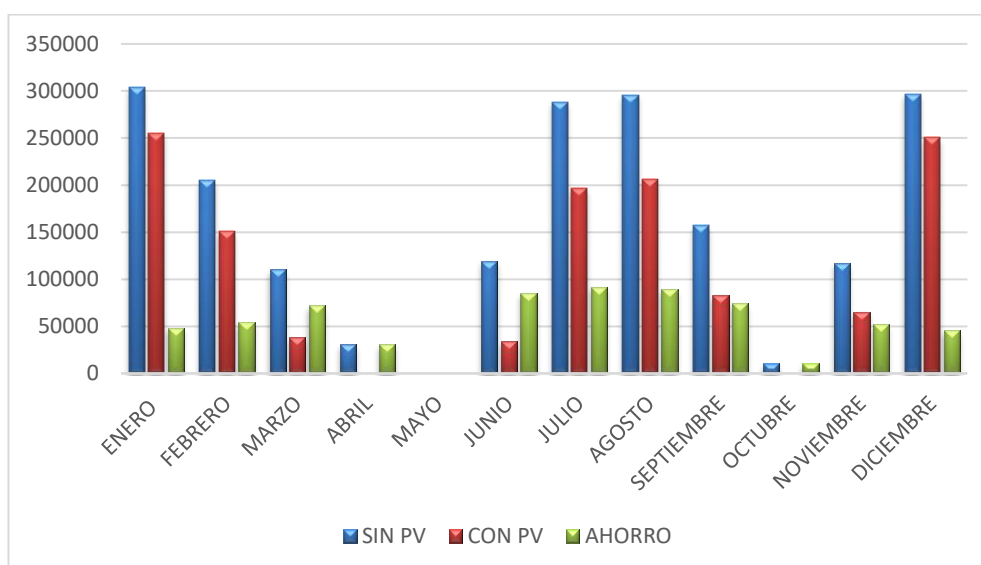


Figura 6.8 Comparación del coste y ahorro con y sin fotovoltaica

7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una vez obtenidos los resultados anteriores, se procede a estudiar qué ocurriría si variasen algunos de los parámetros anteriores que han sido supuestos, puesto que tecnológicamente podrían verse mejorados. Ello podría suponer una mayor generación de energía fotovoltaica, una reducción de las emisiones de CO₂ o bien mayores ahorros.

7.1 Variación de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos

Un cambio en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos supone un cambio en la energía captada por los mismos. En otras palabras, un aumento de la eficiencia supondría un aumento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos, puesto que la eficiencia es la relación entre la energía convertida en electricidad (la cual aumentaría) y la energía que llega los módulos fotovoltaicos (la cual permanecería constante). La siguiente tabla muestra la irradiancia y la energía fotovoltaica generada para un aumento de la eficiencia de un 10 %:

Tabla 7.1 Irradiancia y energía fotovoltaica mensual para un aumento de la eficiencia

	IPVD	DÍAS	IPV	EPV
	(kWh/m ² /día)	Nºdías	(kWh/m ²)	(MWh)
ENERO	4.01	31	124.31	299
FEBRERO	4.97	28	139.16	335
MARZO	5.97	31	185.07	445
ABRIL	6.24	30	187.2	450
MAYO	6.79	31	210.49	507
JUNIO	7.28	30	218.4	526
JULIO	7.58	31	234.98	565
AGOSTO	7.38	31	228.78	551
SEPTIEMBRE	6.33	30	189.9	457
OCTUBRE	5.49	31	170.19	410
NOVIEMBRE	4.43	30	132.9	320
DICIEMBRE	3.8	31	117.8	283
ANUAL	5.86	365	178	5148

La siguiente representación gráfica muestra la evolución de la energía fotovoltaica generada cuando la eficiencia de los módulos fotovoltaicos es de 16,29 % (eficiencia de los módulos estudiados en el presente trabajo) y de 17,29% (mejora de la eficiencia de un 10 %):

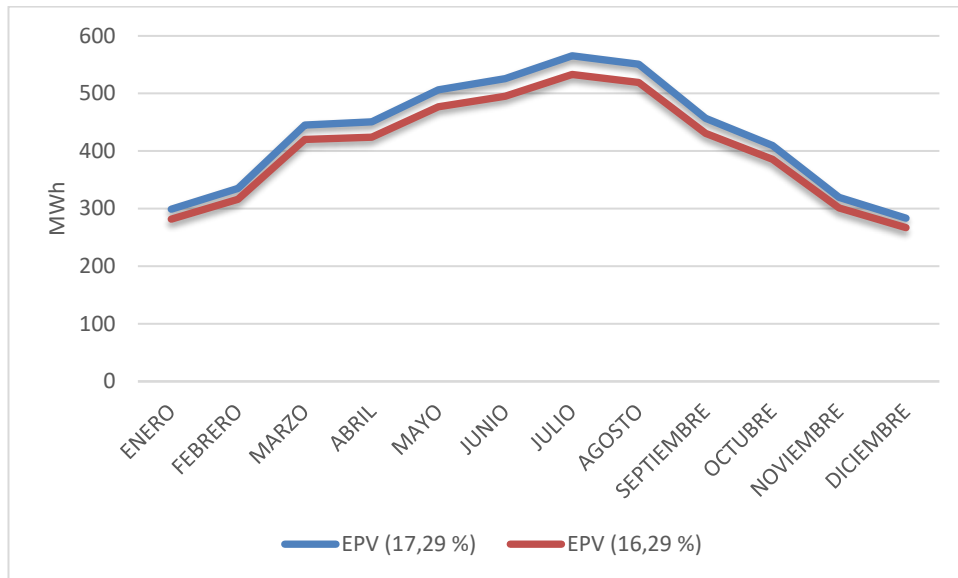


Figura 7.1 Comparativa de la energía fotovoltaica generada para un aumento de la eficiencia

Como se puede apreciar, un aumento de la eficiencia de los módulos provoca un aumento de la energía fotovoltaica generada de manera proporcional.

Por otra parte, el consumo del distrito se mantendrá constante, pero el porcentaje de cobertura de la energía habrá aumentado al haber más energía fotovoltaica generada.

Tabla 7.2 Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura para una mayor eficiencia

	EPV	DEMANDA	CONSUMO	COBERTURA
	(MWh)	(MWh)	(MWh)	%
ENERO	299	3525.5	1763	16.97
FEBRERO	335	2384.5	1192	28.09
MARZO	445	1283.7	642	69.39
ABRIL	450	359.9	180	100.00
MAYO	507	0.7	0	100.00
JUNIO	526	1387.6	694	75.75
JULIO	565	3348.3	1674	33.77
AGOSTO	551	3434.9	1717	32.05
SEPTIEMBRE	457	1825.1	913	50.08
OCTUBRE	410	123.0	61	100.00
NOVIEMBRE	320	1361.9	681	46.97
DICIEMBRE	283	3446.0	1723	16.45
ANUAL	5148	22481.1	11241	48.50

Calculando el porcentaje de cobertura anual del consumo de energía, se llegaría al 48,50 %, es decir, cerca de la mitad del consumo estaría abastecido por energía fotovoltaica. Un aumento de un 1 % sobre la eficiencia de los módulos fotovoltaicos provocaría el aumento de más de un 2 % sobre la cobertura del consumo total del distrito. La Tabla 7.3 recoge el consumo, emisiones fotovoltaicas y evitadas debidas al aumento de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos de un 10 %.

Tabla 7.3 Consumo, emisiones fotovoltaica y eléctrica y emisiones evitadas para un aumento de la eficiencia

	EPV	CONSUMO	EMI(PV)	EMI(ELEC)	EVITADO	
	(MWh)	(MWh)	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	%
ENERO	299	1463.63	13.76	541.54	96.92	14.86
FEBRERO	335	857.37	15.40	317.23	108.50	24.60
MARZO	445	196.48	20.49	72.70	144.29	60.76
ABRIL	450	0.00	20.72	0.00	45.86	68.88
MAYO	507	0.00	23.30	0.00	0.00	100.00
JUNIO	526	168.26	24.18	62.26	170.28	66.33
JULIO	565	1108.72	26.01	410.23	183.21	29.58
AGOSTO	551	1166.93	25.32	431.76	178.37	28.07
SEPTIEMBRE	457	455.57	21.02	168.56	148.06	43.85
OCTUBRE	410	0.00	18.84	0.00	3.91	17.18
NOVIEMBRE	320	361.12	14.71	133.62	103.62	41.13
DICIEMBRE	283	1439.54	13.04	532.63	91.84	14.41
ANUAL	5148	7217.61	236.79	2670.52	1274.86	30.65

En este apartado el consumo hace referencia al consumo eléctrico, el cual evidentemente se ha visto disminuido porque casi el 50 % del consumo total del distrito es proporcionado por la energía fotovoltaica generada como bien se ha comentado antes. Por lo tanto, al disminuir la cantidad de energía eléctrica consumida disminuye la cantidad de CO₂ emitido al ambiente, llegándose a evitar más de un 30 % al año.

Un aumento de un 1 % sobre la eficiencia energética de los módulos, hace que se evite más de un 1,5 % más de emisiones de CO₂ al ambiente.

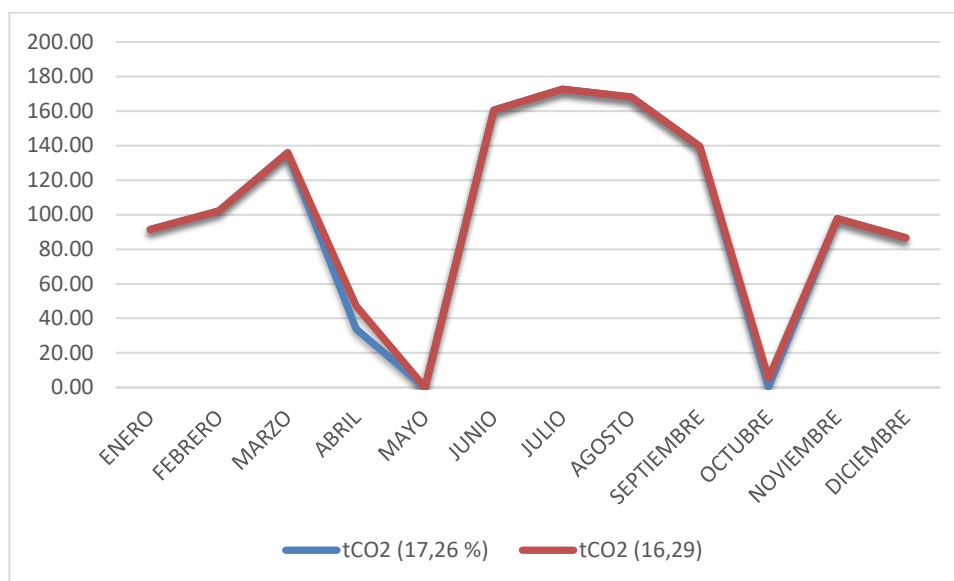


Figura 7.2 Comparativa de las emisiones de CO2 evitadas para un aumento de la eficiencia

Finalmente, se va a ver el coste y el ahorro que supondría este aumento de la eficiencia energética de los módulos fotovoltaicos

Tabla 7.4 Coste y ahorro de la energía con fotovoltaica para un aumento de la eficiencia energética

	EPV	CONSUMO	COSTE	AHORRO		EXCEDENTE	GANANCIA
	(MWh)	(MWh)	€	€	%	(MWh)	€
ENERO	299	1463.63	252036	51511	16.97	0	0
FEBRERO	335	857.37	147638	57665	28.09	0	0
MARZO	445	196.48	33834	76689	69.39	0	0
ABRIL	450	0.00	0	30989	100.00	271	33300
MAYO	507	0.00	0	64	100.00	506	62307
JUNIO	526	168.26	28975	90500	75.75	0	0
JULIO	565	1108.72	190922	97371	33.77	0	0
AGOSTO	551	1166.93	200945	94801	32.05	0	0
SEPTIEMBRE	457	455.57	78449	78690	50.08	0	0
OCTUBRE	410	0.00	0	10586	100.00	258	31800
NOVIEMBRE	320	361.12	62186	55071	46.97	0	0
DICIEMBRE	283	1439.54	247888	48814	16.45	0	0
ANUAL	5148	7217.61	1242873	692752	35.79	127407	127407

Como es visible en este cuadro, un aumento de la eficiencia fotovoltaica de los paneles hace que se incremente en un 2% el ahorro de energía.

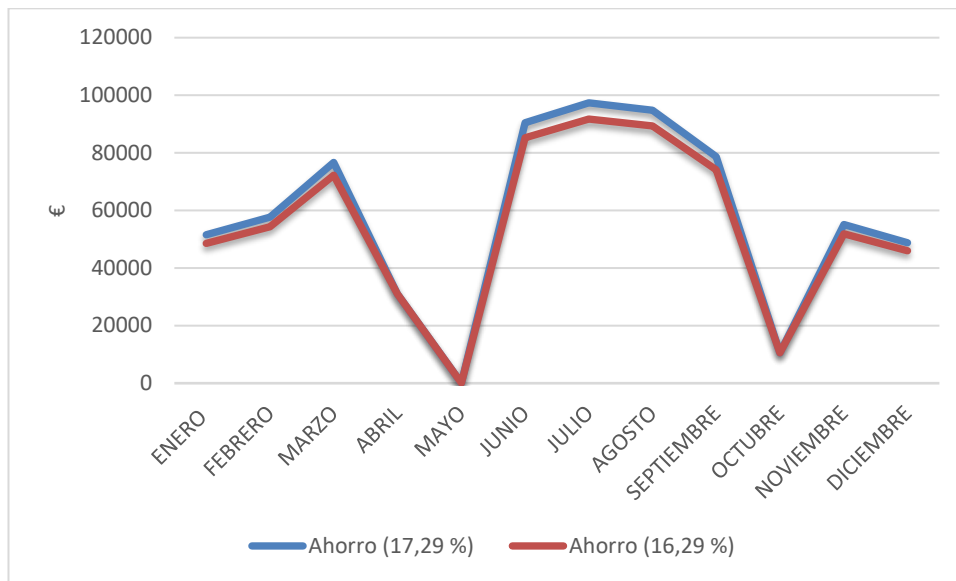


Figura 7.3 Comparativa del ahorro por el aumento de la eficiencia

7.2 Variación de COP y EER

Una mejora del COP y EER de los equipos de climatización supondría una disminución del consumo total de energía por parte del distrito. En esta ocasión, la energía producida por los módulos fotovoltaicos será la misma que en el caso de estudio puesto que no se presenta ninguna variación tecnológica sobre los módulos.

Esta alteración de los parámetros de COP y EER afectaría principalmente al consumo de energía eléctrica y consecuentemente a la emisión de CO₂ y ahorro económico.

Para unos valores de 2,5 de COP y EER, es decir, medio punto más sobre los parámetros estudiados en el presente trabajo, el consumo y porcentaje de cobertura de la energía sería la siguiente:

Tabla 5. Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura para un aumento de COP y EER

	EPV	DEMANDA	CONSUMO	COBERTURA
	(MWh)	(MWh)	(MWh)	%
ENERO	282	3525.5	1410	19.99
FEBRERO	316	2384.5	954	33.08
MARZO	420	1283.7	513	81.72
ABRIL	424	359.9	144	100.00
MAYO	477	0.7	0	100.00
JUNIO	495	1387.6	555	89.21
JULIO	533	3348.3	1339	39.78
AGOSTO	519	3434.9	1374	37.75
SEPTIEMBRE	431	1825.1	730	58.98
OCTUBRE	386	123.0	49	100.00
NOVIEMBRE	301	1361.9	545	55.31
DICIEMBRE	267	3446.0	1378	19.38
ANUAL	4850	22481.1	8992	53.93

Como se refleja en la tabla anterior, un aumento de medio punto suponen una cobertura anual del consumo eléctrico de un 53,93 %, es decir, un 10 % sobre el caso estudiado.

La siguiente gráfica muestra la evolución del consumo para un COP y EER de un valor 2 y 2,5:

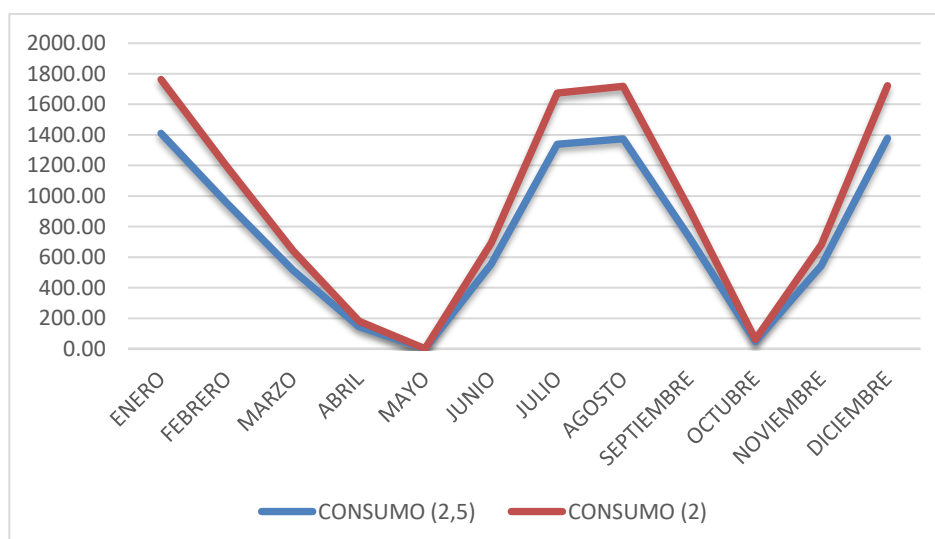


Figura 7.4 Comparación del consumo por la variación de COP y EER

Al verse reducido el consumo de electricidad del distrito, las emisiones de CO₂ al ambiente también se ven reducidas como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 6. Demanda y consumo mensual del distrito. Porcentaje de cobertura para un aumento de COP y EER

	EPV	CONSUMO	EMI(PV)	EMI(ELEC)	EVITADO	
	(MWh)	(MWh)	tCO ₂	tCO ₂	tCO ₂	%
ENERO	282	1128.37	12.96	417.50	91.31	17.50
FEBRERO	316	638.29	14.51	236.17	102.22	28.97
MARZO	420	93.87	19.30	34.73	135.95	71.56
ABRIL	424	0.00	19.52	0.00	33.74	63.35
MAYO	477	0.00	21.95	0.00	0.00	100.00
JUNIO	495	59.90	22.78	22.16	160.43	78.12
JULIO	533	806.59	24.51	298.44	172.61	34.83
AGOSTO	519	855.28	23.86	316.45	168.06	33.06
SEPTIEMBRE	431	299.49	19.80	110.81	139.50	51.64
OCTUBRE	386	0.00	17.75	0.00	0.45	2.46
NOVIEMBRE	301	243.44	13.86	90.07	97.62	48.44
DICIEMBRE	267	1111.33	12.29	411.19	86.53	16.97
ANUAL	4850	5236.55	223.10	1937.52	1188.43	35.72

Se podría llegar a evitar hasta un 35,72 % de los gases de CO₂ con un aumento de los parámetros de CO y EER de medio punto.

Este descenso del consumo energético hace se invierta menos dinero en electricidad y por ello, el ahorro de costes se ve incrementado tal y como se refleja en la tabla inferior:

Tabla 7. Coste y ahorro de la energía con fotovoltaica para un aumento de COP y EER

	EPV	CONSUMO	COSTE	AHORRO		EXCEDENTE	GANANCIA
	(MWh)	(MWh)	€	€	%	(MWh)	€
ENERO	282	1128.37	194306.089	48532.090	19.99	0	0
FEBRERO	316	638.29	109912.876	54329.705	33.08	0	0
MARZO	420	93.87	16164.519	72253.510	81.72	0	0
ABRIL	424	0.00	0.000	24791.197	100.00	280	34524
MAYO	477	0.00	0.000	51.313	100.00	477	58709
JUNIO	495	59.90	10314.022	85265.935	89.21	0	0
JULIO	533	806.59	138895.066	91738.962	39.78	0	0
AGOSTO	519	855.28	147278.826	89318.409	37.75	0	0
SEPTIEMBRE	431	299.49	51571.965	74139.199	58.98	0	0
OCTUBRE	386	0.00	0.000	8469.095	100.00	252	31037
NOVIEMBRE	301	243.44	41919.533	51885.727	55.31	0	0
DICIEMBRE	267	1111.33	191371.130	45990.509	19.38	0	0
ANUAL	4850	5236.55	901734.026	646765.650	41.77	124270	124270

Se puede llegar a reducir los costes por consumo de energía eléctrica en hasta un 41,77 %

8 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente Trabajo Fin de Grado, que se ha basado en un estudio del potencial fotovoltaico de un distrito de Sevilla para cubrir su demanda de climatización, se puede decir que para una demanda total anual de 22.481MWh.

Para dicha demanda de climatización total que incluye todo el conjunto del distrito envolviendo edificios residenciales, terciarios y locales, el porcentaje de cobertura ha sido de un 43,15 % gracias a la energía eléctrica producida por la implementación de módulos fotovoltaicos instalados.

La eficiencia de dichos módulos ha sido de un 16,29 %, generando un total de 4.850MWh que junto con las bombas de calor de COP y EER 2, han hecho que de la demanda anterior tan solo 11.241MWh fueran consumidos por energía eléctrica.

La instalación de estos módulos fotovoltaicos produce dos efectos beneficiosos según se ha constatado en el presente estudio: por un lado, la reducción de las emisiones de CO₂ al existir menos energía producida por combustibles fósiles y ser generada en su lugar por energía fotovoltaica, y por otro, una energía más limpia y un ahorro en costes de un 33,84 % al ser un tipo de energía que apenas tiene costes.

Del análisis de sensibilidad llevado a cabo se puede afirmar que una mejora en la tecnología empleada tanto en los módulos fotovoltaicos como en las bombas de calor produce mayores beneficios sobre las emisiones de gases de efecto invernadero al verse reducidos estos y sobre el ahorro de costes, al existir un menor consumo.

Por ejemplo, un aumento de la efectividad a un 17,29 % hace que se vea aumentada la generación de energía fotovoltaica y con ello aumente el porcentaje de cobertura hasta un 48,50 %, es decir, cerca de la mitad del consumo del distrito sería cubierto por la energía fotovoltaica. Consecuentemente, se produce una reducción de las emisiones de CO₂, hasta un 30,65 % y un ahorro de un 35,79 %.

Un aumento del COP y EER de las bombas de calor del distrito hasta un valor de 2,5 haría que la cobertura fuera del 53,93 % gracias a una reducción de la energía consumida. No afectaría a la generación de energía eléctrica mediante la instalación de los módulos fotovoltaicos. La disminución del consumo lleva por lo tanto asociada una disminución de los gases de CO₂ hasta un 35,72 % y un ahorro de costes de hasta un 41,77 %.

9 REFERENCIAS

- [1] I. E. Agency, «World Energy Outlook 2016,» [En línea]. Available: http://www.iea.org/bookshop/750-World_Energy_Outlook_2017.
- [2] BP, «BP Statistical Review of World Energy 2016,» [En línea]. Available: http://www.bp.com/es_es/spain/prensa/notas-de-prensa/2016/bp-statistical-review-world-energy-2016.html.
- [3] A. y. M. A. Ministerio de Agricultura y Pesca. [En línea]. Available: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>.
- [4] O. M. d. l. Salud. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>.
- [5] A. Creus, «Energías renovables,» Cano Pina, 2009.
- [6] E. y. T. Ministerio de Industria, «La Energía en España 2015».
- [7] C. d. Madrid, «Guía Básica de la Generación Distribuida».
- [8] E. Álvarez Pelegrí y U. Castro Legarza, «Generación distribuida y autoconsumo,» 2014.
- [9] U. E. Fotovoltaica, «El tiempo de la energía solar fotovoltaica,» 2016.
- [1] «Código Técnico de la Edificación. Ahorro de Energía. HE1. Apéndice B,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.
- [1] «Informes de la construcción,» [En línea]. Available: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3636/4107>.
- [1] «Código Técnico de la Edificación. Ahorro de Energía. HE1. Apéndice C,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>.
- [1] «I.E.S Islbilya. Horarios,» [En línea]. Available: se ha hecho un análisis de la ocupación del edificio, teniendo en cuenta que las clases se imparten de 8.15h a 15.45h, por lo que se supondrá una carga máxima de 8h a 3h. se ha estimado la ocupación máxima del centro..
- [1] «Autodesk Knowledge Network,» [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-7A1AFEAE-E3EA-404A-B17E-B24BCBBB8726-htm.html>.

- [1 E. D. J. S. R. U. E. Laura Romero Rodríguez, «Assessment of the photovoltaic potential at urban level
5] based on 3D city models: A case study and new methodological approach».
- [1 E. T. y. F. Ministerio de Industria, «Factores de emisiones de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria
6] de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios de España,» [En línea]. Available:
http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf.
- [1 I. d. E. Solar, «Gráficos Significativos de Energía Solar Fotovoltaica,» [En línea]. Available:
7] http://www.ies.upm.es/sfs/IES/IES-UPM/Portada/2017_01_17%20datos%20fotovoltaica%20en%20Espa%C3%B1a.pdf.
- [1 M. d. E. y. Turismo. [En línea]. Available: [http://www.minetad.gob.es/es-8\] ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf](http://www.minetad.gob.es/es-8] ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.%20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf).

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS

EDIFICIO	SUPERFICIE	ALTURA	Nº PLANTAS	AÑO CONST.	ACRIS	U MUROS	U CUBIERTA	U SUELO	VOLUMEN	LONG. EXT.	SUP. TRANSF.	COMPACIDAD
	m ²	m	-	-	%	W/(m ² ·k)	W/(m ² ·k)	W/(m ² ·k)	m ³	m	m ²	-
1	200	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	4200	48	1208	3.48
2	192	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	4032	52	1284	3.14
3	250	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	5250	41	1111	4.73
4	190	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	3990	45	1135	3.52
5	200	21	6	1997	22	1.8	1.4	2.47	4200	55	1355	3.10
6	212	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4452	50	1262	3.53
7	232	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4872	39	1051	4.64
8	232	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4872	39	1051	4.64
9	232	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4872	39	1051	4.64
10	232	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4872	39	1051	4.64
11	232	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4872	50	1282	3.80
12	212	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4452	50	1262	3.53
13	212	21	6	1995	22	1.8	1.4	2.47	4452	38	1010	4.41
14	232	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	4872	38	1030	4.73
15	232	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	4872	38	1030	4.73
16	344	21	6	1996	22	1.8	1.4	2.47	7224	65	1709	4.23
17	450	36	11	1981	22	1.8	1.4	2.47	16200	103	4158	3.90
18	300	24	7	1974	22	1.72	1.68	2.47	7200	63	1812	3.97
19	308	24	7	1974	22	1.72	1.68	2.47	7392	45	1388	5.33
20	306	24	7	1974	22	1.72	1.68	2.47	7344	65	1866	3.94

21	436	36	11	1981	22	1.8	1.4	2.47	15696	88	3604	4.36
22	436	36	11	1981	22	1.8	1.4	2.47	15696	88	3604	4.36
23	487	36	11	1981	22	1.8	1.4	2.47	17532	82	3439	5.10
24	424	15	4	1981	22	1.8	1.4	2.47	6360	91	1789	3.56
25	491	15	4	1981	22	1.8	1.4	2.47	7365	91	1856	3.97
26	256	15	4	1981	22	1.8	1.4	2.47	3840	52	1036	3.71
27	208	15	4	1968	22	1.72	1.68	2.47	3120	33.3	707.5	4.41
28	262	15	4	1975	22	1.72	1.68	2.47	3930	33.6	766	5.13
29	234	15	4	1975	22	1.72	1.68	2.47	3510	15.4	465	7.55
30	236	15	4	1975	22	1.72	1.68	2.47	3540	29	671	5.28
31	252	15	4	1975	22	1.72	1.68	2.47	3780	41.5	874.5	4.32
32	251	33	10	1974	22	1.72	1.68	2.47	8283	48.6	1854.8	4.47
33	243	33	10	1974	22	1.72	1.68	2.47	8019	35.6	1417.8	5.66
34	234	33	10	1974	22	1.72	1.68	2.47	7722	45.3	1728.9	4.47
35	222	21	6	1974	22	1.72	1.68	2.47	4662	46	1188	3.92
36	190	21	6	1974	22	1.72	1.68	2.47	3990	27	757	5.27
37	217	21	6	1974	22	1.72	1.68	2.47	4557	49	1246	3.66
38	190	24	7	1969	22	1.72	1.68	2.47	4560	38.7	1118.8	4.08
39	190	24	7	1969	22	1.72	1.68	2.47	4560	27.8	857.2	5.32
40	190	24	7	1969	22	1.72	1.68	2.47	4560	27.8	857.2	5.32
41	224	24	7	1969	22	1.72	1.68	2.47	5376	52.5	1484	3.62
42	235	30	9	1988	22	1.8	1.4	2.47	7050	86.6	2833	2.49
43	130	24	7	1988	22	1.8	1.4	2.47	3120	40	1090	2.86
44	441	24	7	1987	22	1.8	1.4	2.47	10584	76	2265	4.67
45	435	24	7	1987	22	1.8	1.4	2.47	10440	69.2	2095.8	4.98
46	357	24	7	1977	22	1.72	1.68	2.47	8568	69.5	2025	4.23
47	341	18	5	1987	22	1.8	1.4	2.47	6138	63.4	1482.2	4.14
48	443	24	7	1987	22	1.8	1.4	2.47	10632	61.6	1921.4	5.53
49	443	24	7	1987	22	1.8	1.4	2.47	10632	62	1931	5.51

50	353	24	7	1977	22	1.72	1.68	2.47	8472	65.8	1932.2	4.38
51	369	36	11	1977	22	1.72	1.68	2.47	13284	88.6	3558.6	3.73
52	443	27	8	1987	22	1.8	1.4	2.47	11961	77	2522	4.74
53	443	27	8	1987	22	1.8	1.4	2.47	11961	62.8	2138.6	5.59
54	443	27	8	1987	22	1.8	1.4	2.47	11961	77	2522	4.74
55	535	18	5	1988	22	1.8	1.4	2.47	9630	48.4	1406.2	6.85
56	542	18	5	1988	22	1.8	1.4	2.47	9756	48.2	1409.6	6.92
57	310	15	4	1998	22	1.8	1.4	2.47	4650	20	610	7.62
58	314	12	3	1998	22	1.8	1.4	2.47	3768	20	554	6.80
59	428	15	4	1980	22	1.8	1.4	2.47	6420	46.7	1128.5	5.69
60	450	15	4	1980	22	1.8	1.4	2.47	6750	37	1005	6.72
61	443	15	4	1980	22	1.8	1.4	2.47	6645	38	1013	6.56
62	433	15	4	1980	22	1.8	1.4	2.47	6495	46.5	1130.5	5.75
63	434	15	4	1980	22	1.8	1.4	2.47	6510	37.5	996.5	6.53
64	433	15	4	1980	22	1.8	1.4	2.47	6495	37.5	995.5	6.52
65	486	18	5	1988	22	1.8	1.4	2.47	8748	58.6	1540.8	5.68
66	464	18	5	1988	22	1.8	1.4	2.47	8352	54	1436	5.82
67	533	18	5	1985	22	1.8	1.4	2.47	9594	54	1505	6.37
68	377	18	5	1985	22	1.8	1.4	2.47	6786	44.5	1178	5.76
69	193	12	3	1985	22	1.8	1.4	2.47	2316	15.2	375.4	6.17
70	193	12	3	1985	22	1.8	1.4	2.47	2316	15.2	375.4	6.17
71	437	18	5	1985	22	1.8	1.4	2.47	7866	46	1265	6.22
72	522	18	5	1985	22	1.8	1.4	2.47	9396	54	1494	6.29
73	525	18	5	1988	22	1.8	1.4	2.47	9450	54	1497	6.31
74	408	18	5	1988	22	1.8	1.4	2.47	7344	52	1344	5.46
75	233	18	5	1974	22	1.72	1.68	2.47	4194	32	809	5.18
76	234	18	5	1981	22	1.8	1.4	2.47	4212	23.2	651.6	6.46
77	238	18	5	1974	22	1.72	1.68	2.47	4284	22.2	637.6	6.72
78	614	18	5	1974	22	1.72	1.68	2.47	11052	52.2	1553.6	7.11
79	610	18	5	1974	22	1.72	1.68	2.47	10980	51.3	1533.4	7.16

80	576	18	5	1997	22	1.8	1.4	2.47	10368	54.4	1555.2	6.67
81	505	18	5	1997	22	1.8	1.4	2.47	9090	53.4	1466.2	6.20
82	416	18	5	1997	22	1.8	1.4	2.47	7488	35	1046	7.16
83	555	18	5	1997	22	1.8	1.4	2.47	9990	43.2	1332.6	7.50
84	533	18	5	1997	22	1.8	1.4	2.47	9594	50.2	1436.6	6.68
85	854	18	5	1975	22	1.72	1.68	2.47	15372	86.5	2411	6.38
86	833	18	5	1975	22	1.72	1.68	2.47	14994	85.3	2368.4	6.33
87	665	21	6	1989	22	1.8	1.4	2.47	13965	66.6	2063.6	6.77
88	698	18	5	1966	22	1.72	1.68	2.47	12564	106.4	2613.2	4.81
89	649	18	5	1999	22	1.8	1.4	2.47	11682	172	3745	3.12
90	480	18	5	1989	22	1.8	1.4	2.47	8640	52.5	1425	6.06
91	277	18	5	1989	22	1.8	1.4	2.47	4986	30	817	6.10
92	341	18	5	1989	22	1.8	1.4	2.47	6138	35.2	974.6	6.30
93	197	18	5	2009	22	0.82	0.45	0.52	3546	31.7	767.6	4.62
94	323	18	5	1989	22	1.8	1.4	2.47	5814	34.6	945.8	6.15
95	400	15	4	1970	22	1.72	1.68	2.47	6000	55	1225	4.90
96	579	15	4	1970	22	1.72	1.68	2.47	8685	73	1674	5.19
97	323	15	4	1970	22	1.72	1.68	2.47	4845	24.8	695	6.97
98	365	15	4	1970	22	1.72	1.68	2.47	5475	76.2	1508	3.63
99	486	15	4	1970	22	1.72	1.68	2.47	7290	75.5	1618.5	4.50
100	50	9	2	1950	22	1.68	1.68	2.47	450	11.4	152.6	2.95
101	46	9	2	1950	22	1.68	1.68	2.47	414	11.2	146.8	2.82
102	50	9	2	1950	22	1.68	1.68	2.47	450	11.4	152.6	2.95
103	50	9	2	1950	22	1.68	1.68	2.47	450	11.4	152.6	2.95
104	46	9	2	1950	22	1.68	1.68	2.47	414	11.2	146.8	2.82
105	695	15	4	1969	22	1.72	1.68	2.47	10425	78.5	1872.5	5.57
106	480	15	4	1969	22	1.72	1.68	2.47	7200	35.4	1011	7.12
107	274	15	4	1969	22	1.72	1.68	2.47	4110	28.2	697	5.90
108	283	15	4	1969	22	1.72	1.68	2.47	4245	35.8	820	5.18

109	459	15	4	1960	22	1.72	1.68	2.47	6885	36.6	1008	6.83
110	627	15	4	1960	22	1.72	1.68	2.47	9405	77.7	1792.5	5.25
111	278	15	4	1960	22	1.72	1.68	2.47	4170	35.7	813.5	5.13
112	260	15	4	1960	22	1.72	1.68	2.47	3900	22.3	594.5	6.56
113	264	12	3	1960	22	1.72	1.68	2.47	3168	50.2	866.4	3.66
114	255	12	3	1960	22	1.72	1.68	2.47	3060	50	855	3.58
115	130	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1950	36.4	676	2.88
116	128	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1920	32	608	3.16
117	104	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1560	28.3	528.5	2.95
118	84	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1260	8.8	216	5.83
119	115	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1725	19.2	403	4.28
120	110	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1650	19.2	398	4.15
121	118	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1770	25.7	503.5	3.52
122	113	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1695	25.7	498.5	3.40
123	130	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1950	26	520	3.75
124	132	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	1980	37.2	690	2.87
125	161	15	4	1965	22	1.72	1.68	2.47	2415	32	641	3.77
126	265	18	5	2001	22	1.8	1.4	2.47	4770	30	805	5.93
127	384	18	5	2001	22	1.8	1.4	2.47	6912	52.7	1332.6	5.19
128	208	18	5	2001	22	1.8	1.4	2.47	3744	34	820	4.57
129	364	18	5	2001	22	1.8	1.4	2.47	6552	36.6	1022.8	6.41
130	349	12	3	2005	22	1.8	1.4	2.47	4188	53.3	988.6	4.24
131	584	18	5	2005	22	1.8	1.4	2.47	10512	51.2	1505.6	6.98
132	610	18	5	2005	22	1.8	1.4	2.47	10980	50.2	1513.6	7.25
133	436	18	5	2008	22	0.82	0.45	0.52	7848	46.8	1278.4	6.14
134	538	18	5	2008	22	0.82	0.45	0.52	9684	62.3	1659.4	5.84
135	806	18	5	2002	22	1.8	1.4	2.47	14508	67.2	2015.6	7.20
136	393	18	5	1977	22	1.72	1.68	2.47	7074	33.6	997.8	7.09
137	417	12	3	1981	22	1.8	1.4	2.47	5004	86.8	1458.6	3.43
138	781	12	3	1981	22	1.8	1.4	2.47	9372	89.3	1852.6	5.06

139	576	12	3	1991	22	1.8	1.4	2.47	6912	70.5	1422	4.86
140	305	18	5	1977	22	1.72	1.68	2.47	5490	41.2	1046.6	5.25
141	257	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	4626	42.8	1027.4	4.50
142	157	12	3	1976	22	1.72	1.68	2.47	1884	25.9	467.8	4.03
143	77	18	5	1993	22	1.8	1.4	2.47	1386	29	599	2.31
144	248	12	3	1969	22	1.72	1.68	2.47	2976	19.5	482	6.17
145	82	18	5	2010	22	0.82	0.45	0.52	1476	18.5	415	3.56
146	96	12	3	1999	22	1.8	1.4	2.47	1152	13.5	258	4.47
147	452	18	5	1975	22	1.72	1.68	2.47	8136	63.2	1589.6	5.12
148	192	12	3	1950	22	1.68	1.68	2.47	2304	42	696	3.31
149	272	12	3	1999	22	1.8	1.4	2.47	3264	48.4	852.8	3.83
150	304	18	5	1999	22	1.8	1.4	2.47	5472	47.4	1157.2	4.73
151	264	18	5	1999	22	1.8	1.4	2.47	4752	44	1056	4.50
152	210	18	5	1999	22	1.8	1.4	2.47	3780	34.8	836.4	4.52
153	232	18	5	1999	22	1.8	1.4	2.47	4176	35.5	871	4.79
154	218	9	2	1994	22	1.8	1.4	2.47	1962	47	641	3.06
155	177	6	1	1925	22	1.68	3.31	2.47	1062	48	465	2.28
156	158	12	3	1955	22	1.68	1.68	2.47	1896	21	410	4.62
157	152	12	3	2005	22	1.8	1.4	2.47	1824	22.4	420.8	4.33
158	55	9	2	1990	22	1.8	1.4	2.47	495	14.2	182.8	2.71
159	218	12	3	1968	22	1.72	1.68	2.47	2616	31.5	596	4.39
160	130	9	2	1990	22	1.8	1.4	2.47	1170	22.6	333.4	3.51
161	183	12	3	2004	22	1.8	1.4	2.47	2196	23.6	466.2	4.71
162	169	12	3	2009	22	0.82	0.45	0.52	2028	22.7	441.4	4.59
163	130	6	1	1998	22	1.8	1.4	2.47	780	21.4	258.4	3.02
164	118	9	2	1977	22	1.72	1.68	2.47	1062	19.9	297.1	3.57
165	200	12	3	1992	22	1.8	1.4	2.47	2400	42	704	3.41
166	164	18	5	1992	22	1.8	1.4	2.47	2952	76.3	1537.4	1.92
167	449	12	3	1992	22	1.8	1.4	2.47	5388	31.9	831.8	6.48

168	148	12	3	1940	22	1.68	1.68	2.47	1776	37.4	596.8	2.98
169	168	9	2	1937	22	1.68	3.31	2.47	1512	17.4	324.6	4.66
170	194	15	4	2011	22	0.82	0.45	0.52	2910	25.9	582.5	5.00
171	161	12	3	1980	22	1.8	1.4	2.47	1932	10.5	287	6.73
172	82	12	3	1974	22	1.72	1.68	2.47	984	17.8	295.6	3.33
173	215	18	5	1974	22	1.72	1.68	2.47	3870	17.8	535.4	7.23
174	143	12	3	2007	22	0.82	0.45	0.52	1716	22.7	415.4	4.13
175	79	12	3	2003	22	1.8	1.4	2.47	948	15.8	268.6	3.53
176	297	18	5	1965	22	1.72	1.68	2.47	5346	28.9	817.2	6.54
177	259	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	4662	37.7	937.6	4.97
178	172	12	3	1976	22	1.72	1.68	2.47	2064	8.7	276.4	7.47
179	197	12	3	1965	22	1.72	1.68	2.47	2364	9.8	314.6	7.51
180	238	12	3	1965	22	1.72	1.68	2.47	2856	44.7	774.4	3.69
181	448	12	3	1972	22	1.72	1.68	2.47	5376	84.6	1463.2	3.67
182	364	12	3	1965	22	1.72	1.68	2.47	4368	26.1	677.2	6.45
183	176	18	5	1975	22	1.72	1.68	2.47	3168	38.2	863.6	3.67
184	186	18	5	1975	22	1.72	1.68	2.47	3348	9.6	358.8	9.33
185	232	18	5	1975	22	1.72	1.68	2.47	4176	14.4	491.2	8.50
186	189	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	3402	21	567	6.00
187	238	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	4284	21	616	6.95
188	192	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	3456	21.2	573.6	6.03
189	246	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	4428	21.2	627.6	7.06
190	227	18	5	1976	22	1.72	1.68	2.47	4086	465	8597	0.48
Hotel	533	15	4	1992	18	1.8	1.4	2.47	9594	82.8	2023.4	4.74
Gimnasio	1170	15	4	2004	40	1.8	1.4	2.47	21060	218	5094	3.95
Instituto	3095	9	2	1996	40	1.8	1.4	2.47	27855	380.5	6519.5	4.27
Anexo	2607	6	1	1918	20	1.68	3.31	2.47	23463	242	4785	3.85
C.Salud	1466	18	5	1983	14	1.8	1.4	2.47	26388	232.6	5652.8	4.67

ANEXO II: OCUPACIÓN, ILUMINACIÓN Y EQUIPOS

Residenciales

CÓDIGO TÉCNICO	
W/persona	117.21

W/persona	117.21
-----------	--------

		Hora																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ocup sen	(W/m ²)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	2.15
Ocup lat	(W/m ²)	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	1.36
Ocup Total	(W/m ²)	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	3.51
ILUMIN	(W/m ²)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.2
EQUIPO	(W/m ²)	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	2.2
CAL	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
REF	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

		Ocupación (n° personas)																								
Tipo	Sup	Hora																								
-	m ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	450	13	13	13	13	13	13	13	13	3	3	3	3	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7	7	7	13
2	443	13	13	13	13	13	13	13	13	3	3	3	3	3	3	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	13
3	349	10	10	10	10	10	10	10	10	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	10	
4	576	17	17	17	17	17	17	17	17	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	9	9	9	9	9	17	
5	806	24	24	24	24	24	24	24	24	6	6	6	6	6	6	6	12	12	12	12	12	12	12	12	24	
6	243	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	7	
7	238	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	7	
8	535	16	16	16	16	16	16	16	16	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	16	
9	584	17	17	17	17	17	17	17	17	4	4	4	4	4	4	4	9	9	9	9	9	9	9	9	17	
10	259	8	8	8	8	8	8	8	8	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	8	
11	695	21	21	21	21	21	21	21	21	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	21	
12	252	8	8	8	8	8	8	8	8	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	8	
13	260	8	8	8	8	8	8	8	8	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	8	
14	248	7	7	7	7	7	7	7	7	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	7	
15	365	11	11	11	11	11	11	11	11	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	11	

Edificios docentes

CÓDIGO TÉCNICO	
m ² /persona	10

PERSONAS MÁXIMAS	
INSTITUTO	310
ANEXO	261

		Ocupación (nº personas)																							
Tipo	Sup m ²	Hora																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
INSTITUTO	3095	0	0	0	0	0	0	6	200	200	200	200	208	208	200	200	200	50	90	90	90	90	6	0	0
ANEXO	2607	0	0	0	0	0	0	12	22	71	242	256	261	219	158	146	65	63	76	96	109	58	19	0	0

		Iluminación / Equipos (W/m ²)																							
Tipo		Hora																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
INSTITUTO		0	0	0	0	0	0	0.17	0.31	0.96	3.27	3.46	3.52	2.96	2.13	1.97	0.89	0.86	1.03	1.30	1.48	0.79	0.26	0	0
ANEXO		0	0	0	0	0	0	0.10	3.42	3.42	3.42	3.42	3.55	3.55	3.42	3.42	3.42	0.85	1.54	1.54	1.54	1.54	0.10	0	0

Gimnasio

	SUPERFICIE	CTE	ILUM	EQUIPOS
	m ²	per/m ²	(W/m ²)	(W/m ²)
GIMNASIO	1170	0.335	10.8	10.8
HOTEL	533	0.05	10.9	5.4

		GIMNASIO																							
		Hora																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PORC	1/100	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	0.3	0	0	0
OCUP	Nº per	0	0	0	0	0	0	0	39	78	195	195	274	274	274	274	313	274	195	195	117	117	0	0	0
ILUM	(W/m ²)	0	0	0	0	0	0	0	1.08	2.16	5.4	5.4	7.56	7.56	7.56	7.56	8.64	7.56	5.4	5.4	3.24	3.24	0	0	0
EQUIP	(W/m ²)	0	0	0	0	0	0	0	1.08	2.16	5.4	5.4	7.56	7.56	7.56	7.56	8.64	7.56	5.4	5.4	3.24	3.24	0	0	0

Hotel

SUPERFICIE	CTE	ILUM	EQUIPOS
m ²	per/m ²	(W/m ²)	(W/m ²)
533	0.05	10.9	5.4

HOTEL																									
		Hora																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PORC	1/100	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9
OCUP	Nº per	23	23	23	23	23	23	18	10	10	5	5	5	5	5	5	7	13	13	13	18	18	21	23	23
ILUM	(W/m ²)	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	7.63	4.36	4.36	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	3.27	5.45	5.45	5.45	7.63	7.63	8.72	9.81	9.81
EQUIP	(W/m ²)	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	4.86	3.78	2.16	2.16	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.62	2.7	2.7	2.7	3.78	3.78	4.32	4.86	4.86

Centro de Salud

CTE	SUPERFICIE	OCUP.MAX
m ² /per	m ²	persona
10	1466	147

		CENTRO DE SALUD																							
		Hora																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
OCUP	nº per	0	0	0	0	0	0	15	29	74	118	118	118	118	118	118	118	118	74	44	44	29	29	0	0
ILU/ EQUIP	(W/m ²)	0	0	0	0	0	0	1.26	2.44	6.22	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	6.22	3.70	3.70	2.44	2.44	0	0

Locales

CTE	SUPERFICIE	OCUP.MAX
m ² /per	m ₂	persona
10	1466	147

CENTRO DE SALUD

Hora

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
OCUP	nº per	0	0	0	0	0	0	15	29	74	118	118	118	118	118	118	118	118	74	44	44	29	29	0	0
ILU/ EQUIP	(W/m ²)	0	0	0	0	0	0	1.26	2.44	6.22	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	6.22	3.70	3.70	2.44	2.44	0	0

ANEXO III: COMPARATIVA DE ORIENTACIÓN

	A_p	U	A_D	I_{pv}	E_{pv}
	m ²	-	m ²	KWh/m ²	MWh
CASO A	74488	0.25	18409.7	2138.9	4849
CASO B	74488	0.21	15464.2	2182.7	4157

COEFICIENTES DE REDUCCIÓN												
	ÁREA POTENCIAL								POTENCIAL FOTOVOLTAICO			
	C_{CON}	C_{PROT}	C_{SH}	C_{SA}	C_{AZ}	C_{SL}	C_{GR}	C_{PV}	C_{ST}	η_{ef}	η_{th}	η_{SYS}
CASO A	0.9	1	0.7	0.97	1	1	0.40	1	0	0.1629	0.9	0.84
CASO B	0.9	1	0.7	0.97	0.84	1	0.40	1	0	0.1629	0.9	0.84

ANEXO IV: FICHA TÉCNICA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

German
Solar
Engineering

 **LUXOR**
the sunshine people



Made in Europe



product guarantee!



linear performance guarantee!



SECURE LINE
M60/250 - 270 W

Glass-Glass module family
Black Edition



Longlife tested



Power proofed



Safety provided



Selection of components



Back glass



Edge-Sealing



Performance surplus of 0 Wp to 6.49 Wp



Higher heat dispensing



Wider light spectrum absorbed



100% PID free cells



Special packing to avoid micro cracks in the cells



German warrantor

The 60-cell Glass-Glass Edition is the first choice for safety-conscious system owners. Secure stands for outstanding lifespan and a groundbreaking quality standard on components and manufacturing technology. Glass sheets on front and back side guarantee highest durability, mechanical stability as well as fire safety. As special edge sealing of the laminate used in automotive manufacturing provides for absolute protection from humidity and other harmful environmental influences. The use of PVA rather than EVA as encapsulant

allows for a higher transmission factor as well as 100% protection against PID. High quality solar cell with an efficiency up to 20.6% at the best possible low light behaviour ensure the best energy output. And this at plus tolerances of 0Wp to 6.49Wp. The Glass-Glass panel is the best possible solution when it comes to extraordinary lifespan, reliability and durability. This is reflected by a surpassing 30-year warranty on workmanship and power.

SECURE LINE M60/250 – 270W



Glass-Glass module family

Electrical data	LX-250M	LX-260M	LX-270M
Rated power P _{mpp} [Wp]	250.00	260.00	270.00
P _{mpp} range from	250.00	260.00	270.00
P _{mpp} range to	256.49	266.49	276.49
Rated current I _{mpp} [A]	7.97	8.31	8.77
Rated voltage V _{mpp} [V]	31.26	31.33	31.82
Short-circuit current I _{sc} [A]	8.53	8.75	9.29
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	38.58	38.66	38.72
Efficiency at STC	15.08%	15.68%	16.29%
NOCT [°C]	43.6°C	43.6°C	43.6°C

Specification as per STC (Standard test conditions): irradiance 1000 W/m² | module temperature 25°C | AM – 1,5
 NOCT (nominal operating cell temperature): irradiance 800 W/m² | wind speed 1 m/sec | temperature 20°C | AM – 1,5

Limiting values	LX-250M / LX-260M / LX-270M
Max. system voltage [V]	1000 V
Max. return current [I]	15 A
Temperature range	-40 to 85°C
Snow-load zone ²	approval up to SLZ 3 (according to DIN 1055)
Max. pressure load (static)	5400 Pa

Temperature coefficient	LX-250M / LX-260M / LX-270M
Temperature coefficient [V] [I] [P]	-0.34 % /°C 0.05 % /°C -0.42 % /°C

Specifications	LX-250M / LX-260M / LX-270M
Number of cells (matrix)	6 x 10, three strings in a row
Cell size	156 mm x 156 mm
Module dimensions (L x W x H) ² Weight	1682 mm x 1000 mm x 41 mm 23.0 kg
Front-side glass	2.1 mm hardened solar glass with low iron content; DIN 12150
Back-side glass	2.1 mm hardened solar glass with low iron content; DIN 12150
Frame	stable, anodised aluminium frame in a hollow-section design, black plastic (PPO), Huber & Suhner, IP67, strain-relieved
Socket	
Diodes	3 Schottky Diodes 15A/45V
Cable	4 mm ² solar cable, cable length 1.0 m
Plug-in connection	high-quality plug-in system, (IP65) MC4 or equivalent
Hail test (max. hailstorm)	Ø 45 mm impact velocity 23 m/s
Resistance	Ammonium and Saltmist

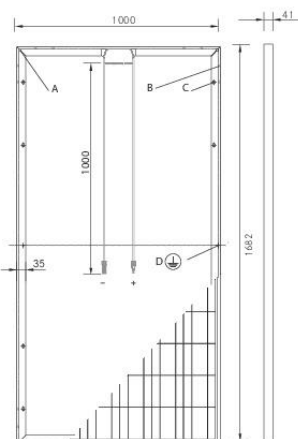
Packing	LX-250M / LX-260M / LX-270M
Packing unit	17 modules 44 PU/Truck 13.6 LM
Dimensions (L x W x H) Weight	181 cm x 80 cm x 120 cm 415 kg gross

The specifications and average values can vary slightly. What is important is the corresponding data of the individual measurement. Specifications are subject to change without notice. Measurement tolerance: rated power +/- 3%, other values +/- 10%, all information in this data sheet corresponds to DIN 50380. A potential light-induced degradation of the power after commissioning is not considered here, other information can be found in the installation guidelines.

- The specific warranty conditions are given under www.luxor-solar.com/download.htm
- For standing installation
- Tolerance L/W – +/- 3 mm, H – the dimensions given in the order confirmation will be decisive
- Location on request
- Exemplary for LX-250M SecureLine

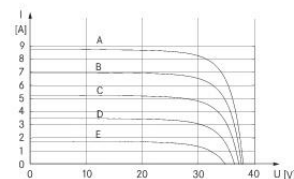
Luxor, your specialised company

Back view/ Front view/ Side view³

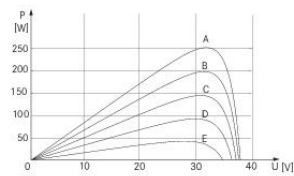


- A: 4 x Drainage 10* 10 mm
- B: 8 x Ventilationsbohrung 3*7 mm
- C: 8 x Montagebohrung⁴ d – 7 mm
- D: 2 x Erdung d – 2 mm

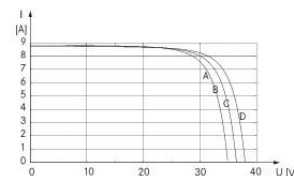
Characteristics⁵



A: 1000 W/m² | B: 800 W/m² | C: 600 W/m² | D: 400 W/m² | E: 200 W/m²



A: 1000 W/m² | B: 800 W/m² | C: 600 W/m² | D: 400 W/m² | E: 200 W/m²



A: 65 °C | B: 45 °C | C: 25 °C | D: 5 °C

Guidelines: 2006/95/EG-2006/95/EC, 89/336/EWG-89/336/EEC, 93/68/EWG-93/68/EEC



The validity of the certificates/ listings for a specific country has to be examined under: www.luxor-solar.com/download.htm

Secure Line M60/250-270 W_17/15

ANEXO V: DEMANDA DEL DISTRITO

Residenciales

	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN	TOTAL
	(MWh)	(MWh)	(MWh)
ENERO	0	2847	2847
FEBRERO	0	1935	1935
MARZO	0	1057	1057
ABRIL	0	298	298
MAYO	0	0	0
JUNIO	959	0	959
JULIO	2427	0	2427
AGOSTO	2467	0	2467
SEPTIEMBRE	1225	0	1225
OCTUBRE	0	98	98
NOVIEMBRE	0	1133	1133
DICIEMBRE	0	2784	2784
ANUAL	7078	10153	17231

Terciarios

	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN	TOTAL
	(MWh)	(MWh)	(MWh)
ENERO	0	301	301
FEBRERO	0	201	201
MARZO	0	105	105
ABRIL	0	35	35
MAYO	0	1	1
JUNIO	140	0	140
JULIO	314	0	314
AGOSTO	310	0	310
SEPTIEMBRE	155	0	155
OCTUBRE	0	12	12
NOVIEMBRE	0	114	114
DICIEMBRE	0	294	294
ANUAL	919	1063	1982

Locales

	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN	TOTAL
	(MWh)	(MWh)	(MWh)
ENERO	0	377	377
FEBRERO	0	248	248
MARZO	0	122	122
ABRIL	0	26	26
MAYO	0	0	0
JUNIO	289	0	289
JULIO	608	0	608
AGOSTO	657	0	657
SEPTIEMBRE	445	0	445
OCTUBRE	0	13	13
NOVIEMBRE	0	115	115
DICIEMBRE	0	368	368
ANUAL	1999	1269	3269

Distrito

	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN	TOTAL
	(MWh)	(MWh)	(MWh)
ENERO	0	3526	3526
FEBRERO	0	2384	2384
MARZO	0	1284	1284
ABRIL	0	360	360
MAYO	0	1	1
JUNIO	1388	0	1388
JULIO	3348	0	3348
AGOSTO	3435	0	3435
SEPTIEMBRE	1825	0	1825
OCTUBRE	0	123	123
NOVIEMBRE	0	1362	1362
DICIEMBRE	0	3446	3446
ANUAL	9996	12485	22481