

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería de la Energía

### Evaluación del coste de ciclo de vida de edificios con instalaciones de autoconsumo teniendo en cuenta la energía embebida

Autor: Cristina Vázquez Gerena

Tutor: José Manuel Salmerón Lissén

Depto. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de la Energía

**Evaluación del coste de ciclo de vida de edificios  
con instalaciones de autoconsumo teniendo en  
cuenta la energía embebida**

Autor:

Cristina Vázquez Gerena

Tutor:

José Manuel Salmerón Lissén  
Profesor Contratado Doctor

Departamento de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado: Evaluación del coste de ciclo de vida de edificios con instalaciones de autoconsumo teniendo en cuenta la energía embebida

Autor: Cristina Vázquez Gerena

Tutor: José Manuel Salmerón Lissén

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos.

---

En primer lugar quiero agradecer a mis padres y mis hermanos por todo su apoyo y preocupación durante la realización del presente Trabajo Fin de Grado. También me gustaría agradecer a todas aquellas personas (amigos y familiares), que al igual que mis padres, se han preocupado por mí.

Por otro lado, tengo un agradecimiento especial a mi tutor José Manuel Salmerón Lissén por sus consejos y orientaciones, que han sido un pilar fundamental, por atenderme siempre que le he pedido ayuda y estar atento a mi evolución en el proyecto. También agradezco la colaboración de mi profesor Fco. Javier Pino, por atender mis dudas sobre energías renovables.

Por último, agradecer a mis compañeros Álvaro, Isaías, Antonio, Javier, Gloria y Cristina, las ayudas puntuales que me han ofrecido.



# Resumen.

---

En este trabajo se ha estudiado el coste de ciclo de vida (CCV), calculado según la norma UNE-EN-15603, de un edificio base, teniéndose en cuenta la energía embebida. Para ello, se han considerado varias opciones de mejora para cinco elementos de la envolvente, que combinadas entre ellas han dado lugar a un total de 17280 combinaciones, complementándose con nueve opciones de sistemas de climatización para hacer frente a las demandas en calefacción y refrigeración tras aplicar dichas mejoras en la envolvente. A su vez el estudio se ha efectuado para tres ciudades distintas, ubicadas en zonas climáticas diferentes.

Entre los sistemas estudiados destacan, el que utiliza una bomba de calor geotérmica, y los que utilizan bombas de calor con parte del suministro de la energía consumida suministrada por una instalación fotovoltaica.

Las conclusiones a las que se han llegado son:

- Los sistemas conformados por calderas asociadas con bombas de calor se descartan, pues independientemente de presentar una menor o mayor inversión inicial, el coste de operación anual se dispara con respecto a otros sistemas, debido a que el consumo es mucho mayor, incluso aunque sus combustibles tengan menor precio.
- La bomba de calor geotérmica, aunque presente un coste de equipo, parecido o superior con respecto a una bomba de calor convencional, en cambio, origina un coste de operación muy inferior, por ser su consumo bastante inferior con respecto a la bomba de calor convencional.
- Una bomba de calor asociada a una instalación fotovoltaica, aún teniendo una inversión inicial superior, con respecto a no incorporar dicha instalación, en un 50-80% de incremento, en cambio el ahorro en costes de operación puede estar entre un 65-85% anual. Lo que redundaría en disminución del CCV.
- La energía embebida supone un mayor porcentaje del consumo, cuanto menor sea este último.
- Las diferencias entre distintas zonas climáticas, no hacen variar las conclusiones anteriores.



# Abstract.

---

This paper has studied the CCV that include the embodied energy, and is calculated with UNE-EN-15603. It has considered with different systems to meet the demands in air conditioning. For the study the building has used 17280 combinations with five elements like windows, walls, floor and cover. The building has been studied in three different cities with different weather situations.

Between the systems that have been studied, the most important are geothermal heat pump and heat pump associated with a photovoltaic system.

The conclusions that have been reached are:

- The boilers associated with heat pump systems aren't chosen, because even if they present a lower or higher initial investment, the cost of annual operation will be too high in comparison to other systems because consumption is much higher, even though their fuels have lower price.
- The geothermal heat pump, have a higher investment cost than a conventional heat pump. However, they have lower operation costs.
- A heat pump associated with a photovoltaic system, even with a higher initial investment, a 50-80% increase, whereas the operating cost savings can be between 65-85 % annually.
- The embodied energy accounts have higher percentage consumption.
- The differences between different cities do not change the conclusions.



# Índice.

<b>Agradecimientos.</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen.</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract.</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice.</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas.</b>	<b>xvii</b>
<b>Índice de Figuras.</b>	<b>xix</b>
<b>Notación.</b>	<b>xxi</b>
<b>1 Introducción.</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivo del proyecto.</i>	1
1.2 <i>Enfoque – Organización del proyecto.</i>	1
<b>2 Situación energética.</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Evolución de la situación energética en el mundo.</i>	3
2.1.1. Dinámica del consumo de energía comercial en 1973-2005.	4
2.1.2. Predominio de los combustibles fósiles y repunte de la energía nuclear.	4
2.1.3. Situación en los últimos diez años.	6
2.1.4. Nuevos retos: la sostenibilidad energética.	7
2.1.5. Biocombustibles y subdesarrollo.	9
2.1.6. Cambio climático.	9
2.2 <i>Situación de las energías renovables en España.</i>	11
2.2.1. Fotovoltaica.	11
2.2.2. Geotérmica.	12
2.3 <i>Situación energética actual en los edificios nueva construcción.</i>	13
2.4 <i>Posibilidades de ampliación a la rehabilitación energética de edificios.</i>	14
<b>3 Marco normativo.</b>	<b>16</b>
<b>4 Tecnologías renovables.</b>	<b>19</b>
4.1 <i>Sistema fotovoltaico.</i>	19
4.1.1. Instalación fotovoltaica aislada.	19
4.1.2. Instalación fotovoltaica de conexión a red.	20
4.2 <i>Sistema solar térmico.</i>	23
4.3 <i>Energía eólica.</i>	26
4.4 <i>Biomasa.</i>	28
4.5 <i>Geotérmica.</i>	29
<b>5 Edificio de estudio.</b>	<b>33</b>
<b>6 Coste de ciclo de vida.</b>	<b>37</b>
6.1 <i>Cálculo del coste de ciclo vida. Suposiciones.</i>	38
6.2 <i>Costes de mejoras en la envuelta del edificio.</i>	39
6.2.1 Ventanas.	39
6.2.2. Muros (Aislamiento).	40
6.2.3. Solera (Aislamiento).	41
6.2.4. Cubierta (Aislamiento).	41

6.2.3. Control solar (Toldos).	42
6.2.4.. Ventilación y puente térmicos.	42
6.3 <i>Cálculo de la energía embebida.</i>	42
6.3.1 EE de las ventanas.	43
6.2.2. EE de los muros.	44
6.2.3. EE de la solera.	44
6.2.4. EE de la cubierta.	45
6.2.3. EE de los toldos.	45
6.4 <i>Combinaciones consideradas con los elementos de la envolvente.</i>	45
6.5 <i>Costes de los equipos de climatización.</i>	47
6.6 <i>Costes de operación.</i>	48
6.6.1. Precios de los combustibles.	48
6.6.2. Cálculo de la instalación fotovoltaica.	48
6.6.2.1. Parámetros característicos del panel fotovoltaico.	49
6.6.2.2. Parámetros característicos del inversor.	49
6.6.2.3. Parámetros característicos del emplazamiento.	50
6.6.2.4. Dimensionado: NPS, NHP.	50
6.6.2.5. Costes asociados.	51
6.6.2.6. Energía producida.	51
6.6.2.7. Ahorro.	51
6.6.3. Consumos de climatización.	51
6.6.3.1. Demanda de calefacción.	51
6.6.3.2. Demanda de refrigeración.	53
6.6.3.3. Demanda de ACS.	53
6.6.3.4. Consumo dependiendo del tipo de sistema.	53
6.6.3.5. Cálculo de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración.	53
6.6.4. Cálculo del coste de ciclo de vida.	54
<b>7. Análisis de los resultados.</b>	<b>57</b>
<b>Conclusiones.</b>	<b>63</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>65</b>
<b>Anexo.</b>	<b>67</b>
A.1 <i>Energías demandadas en calefacción, refrigeración y ACS.</i>	67
A.1.1. Caso A - Ubicación en Granada.	67
A.1.2. Caso B - Ubicación en Madrid.	68
A.1.3. Caso C - Ubicación en Sevilla.	69
A.2 <i>Costes de ciclo de vida y consumos de energía.</i>	70
A.2.1. Caso A - Ubicación en Granada.	70
A.2.2. Caso B - Ubicación en Madrid.	74
A.2.3. Caso C - Ubicación en Sevilla.	79
A.3 <i>Gráficas de costes ciclo de vida frente a consumos energía.</i>	84
A.3.1. Caso A - Ubicación en Granada.	84
A.3.2. Caso B - Ubicación en Madrid.	87
A.3.3. Caso C - Ubicación en Sevilla.	90
A.4 <i>Comparación entre las combinaciones propuestas para la ubicación en Granada y las mismas para Madrid.</i>	93
A.5 <i>Comparación entre las combinaciones propuestas para la ubicación en Granada y las mismas para Sevilla.</i>	95
A.6 <i>Equipos fotovoltaicos.</i>	97
A.6.1. Módulo solar fotovoltaico A-250M GSE.	97
A.6.2. Inversor SUNNY BOY 5000TL.	98

# Índice de Tablas.

---

Tabla 5-1. Descripción de las soluciones constructivas empleadas.	34
Tabla 5-2. Área de cada planta.	35
Tabla 5-3. Porcentajes de acristalamiento por orientaciones.	35
Tabla 6-1. Ventanas. Precios, U, g y EE.	40
Tabla 6-2. Aislamiento de muros. Precios, resistencia, espesor, conductividad, U y EE.	40
Tabla 6-3. Aislamiento de solera. Precios, resistencia, espesor, conductividad, U y EE.	41
Tabla 6-4. Aislamiento de cubierta. Precios, resistencia, espesor, conductividad, U y EE.	41
Tabla 6-5. Control solar. Precios, g(ventana en verano) y EE.	42
Tabla 6-6. Descripción de las soluciones constructivas empleadas.	43
Tabla 6-7. Descripción de las soluciones constructivas empleadas.	45
Tabla 6-8. Descripción de las combinaciones de las soluciones constructivas empleadas.	46
Tabla 6-9. Costes de las mejoras en elementos del envolvente, según combinaciones constructivas empleadas.	46
Tabla 6-10. Equipos considerados, tipo caldera, para hacer frente a demanda de calefacción.	47
Tabla 6-11. Equipos considerados, tipo bomba de calor, para hacer frente tanto a las demandas de calefacción, como a las de refrigeración.	47
Tabla 6-12. Equipos considerados, tipo bomba de calor, para hacer frente exclusivamente a demanda de refrigeración.	48
Tabla 6-13. Precios de combustibles.	48
Tabla 6-14. Combinaciones realizadas de equipos de climatización.	54
Tabla 7-1. Comparación entre caso base y caso óptimo.	61



# Índice de Figuras.

---

Figura 2-1. Objetivos a cumplir en protocolo de Kioto (1997).	10
Figura 2-2. Evolución de la potencia instalada procedente de energía solar fotovoltaica en España.	10
Figura 2-3. Cobertura de la demanda máxima horaria peninsular.	12
Figura 2-4. Central de Soultz-sous-Forêts en Francia. / BRGM-ADEME.	10
Figura 2.5. Instalación geotérmica tipo en edificio.	10
Figura 4-1. Instalación fotovoltaica aislada.	19
Figura 4-2. Instalación fotovoltaica de conexión a red.	20
Figura 4-3. Esquema eléctrico de instalación fotovoltaica de conexión a red.	20
Figura 4-4. Módulo fotovoltaico.	21
Figura 4-5. Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos.	21
Figura 4-6. Inversor.	21
Figura 4-7. Batería.	22
Figura 4-8. Regulador / controlador de carga.	22
Figura 4-9. Esquema de funcionamiento de un sistema de captadores para agua caliente sanitaria.	24
Figura 4-10. Esquema de funcionamiento con circulación forzada.	24
Figura 4-11. Colectores solares con depósito integrado.	26
Figura 4-12. Equipos de energía minieólica.	27
Figura 4-13. Caldera de biomasa.	28
Figura 4-14. Esquema de bomba de calor geotérmica.	29
Figura 4-15. Esquema de funcionamiento de bomba de calor geotérmica.	29
Figura 4-16. Intercambiador vertical.	30
Figura 4-17. Intercambiador horizontal.	30
Figura 5-1. Plantas del edificio de estudio.	33
Figura 5-2. Urbanización donde se ubica edificio de estudio.	33
Figura 5-3. Vistas de la vivienda y plantas tipo.	34
Figura 5-4. Vista acotada de la vivienda y plantas tipo.	35
Figura 5-5. Vistas espaciales del edificio.	36
Figura 6-1. CCV, situación inicial.	37
Figura 6-2. CCV, situación óptima.	38
Figura 6-3. Radiación mensual en relación con la radiación sur.	52
Figura 6-4. Obtención del factor de utilización.	53
Figura 7-1. Comparación de costes de ciclo de vida frente a consumo anual para los nueve casos supuestos de combinaciones de equipos de climatización.	57
Figura 7-2. Comparación de calderas con Bdc2 (en refrigeración)	58
Figura 7-3. Comparación de calderas con Bdc2 (en refrigeración) y Bdc2 (calf/rerg).	58
Figura 7-4. Comparación de Bdc1 y Bdc2 (ambas con otovoltaica).	59

Figura 7-5. Comparación de BdC, excluyendo fotovoltaica.	59
Figura 7-6. Comparación de BdC1 (fotovoltaica) con BdC1 y con BdC (geotérmica).	60
Figura 7-7. Comparación de BdC.	60

# Notación.

HULC	Herramienta unificada Lider-Calener
U	Transmitancia termica, en $W/m^2K$
CCV	Coste de ciclo de vida
A	Área, $m^2$
g	Factor solar, adimensional
EE	Energía embebida, en kWh/año
P	Precio, en €
R	Resistencia termica, en $m^2K/W$
e	Espesor, en m
k	Conductividad térmica, en $W/mK$
$\rho$	Densidad, en $Kg/m^3$
BdC	Bomba de calor
C	Caldera
$P_{pico}$	Potencia pico, en kW
$V_{mp}$	Tensión máxima potencia, en V
$I_{mp}$	Corriente máxima potencia, en A
$V_{oc}$	Tensión de circuito abierto, en V
$I_{cc}$	Corriente de cortocircuito, en A
$V_{aislamiento}$	Tensión de aislamiento, en V
$A_{panel}$	Área del panel, en $m^2$
$V_{spmpmax}$	Tensión máxima de seguimiento del punto de máxima potencia, en V
$V_{spmpmin}$	Tensión mínima de seguimiento del punto de máxima potencia, en V
$V_{maxadmis}$	Tensión máxima admisible, en V
$I_{maxadmis}$	Corriente máxima admisible, en A
$T_{a,max}$	Temperatura ambiente máxima, en °C
$T_{a,min}$	Temperatura ambiente mínima, en °C
$N_{tp}$	Número total de paneles
$N_{ps}$	Número de paneles en serie
$N_{hp}$	Número de paneles en paralelos
$V_{ca,max}$	Tensión máxima a circuito abierto, en V
TONC	Temperatura de operación nominal de la célula, en °C
$T_{p,min}$	Temperatura mínima del panel, en °C
$T_{p,max}$	Temperatura máxima del panel, en °C
$C_{O\&M}$	Costes de operación y mantenimiento, en €
PR	Performance ratio, adimensional
$E_{p,mes}$	Energía producida mensualmente, en kWh/mes
$h_{SP}$	Hora solar pico,
$D_{ACS}$	Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS), en kWh/mes



# 1. Introducción.

---

Los edificios representan el 40% del consumo de energía final, por lo que es de suma importancia intentar disminuir dicha cifra, y para ello, en primer lugar habrá que intentar disminuir la energía embebida de los elementos constructivos de un edificio. Y además, por supuesto, conseguir que con mejoras en los elementos envolventes y con la aportación de combinaciones de equipos de climatización, que tengan en cuenta las condiciones climáticas y ambientales de la zona de ubicación, se consiga disminuir la parte proporcional correspondiente al mantenimiento y rehabilitación de edificios.

Resulta paradójico que la eficiencia energética no sea ahora mismo una cuestión prioritaria en España, cuando esto resultaría muy ventajoso económicamente para un país con una dependencia energética tan alta del exterior (76%).

## 1.1. Objetivo del proyecto.

Valorar las posibilidades de mejora en el coste de mantenimiento de edificios, mediante el estudio del coste de ciclo de vida de un edificio unifamiliar definido. Para ello, se pretende modificar las características de determinados elementos envolventes constructivos y a su vez ver el ahorro que produce incorporar energías renovables, a su vez ver los aspectos positivos y negativos de la introducción de este tipo de tecnologías combinándolas unas con otras, en particular sistemas fotovoltaicos y bombas de calor geotérmica, a los sistemas de climatización y ACS.

También se busca ver la importancia de la energía embebida en los edificios, ya que tiene en cuenta la energía que se emplea para la construcción de dicho edificio, por lo que será importante tenerlo en cuenta. Y como conclusiones de dicho trabajo se pretende ver las ventajas y desventajas de incorporar las energías renovables frente a otros que no lo tengan incorporado tanto a corto como a largo plazo, y ver el porcentaje de energía embebida en nuestro edificio.

## 1.2. Enfoque – Organización del proyecto.

Se iniciará con un diagnóstico de la situación energética actual, y sobre todo de la situación española, pasando por comentar la situación las energías renovables en nuestro país y terminar particularizando en la situación de Andalucía, así como en la utilización de las mismas en la rehabilitación o mejora en eficiencia energética en edificación. Se proseguirá con la identificación del marco normativo y con la exposición y definición de tecnologías renovables. Particularizando a las utilizadas en edificación.

A continuación definiremos un edificio base, edificio de estudio, que en nuestro caso será una vivienda unifamiliar de nueva construcción, se explicarán sus características fundamentales de cara al estudio y además se definirán varias zonas geográficas para su ubicación, con el fin de identificar también los efectos de diferentes zonas climáticas. Para luego proseguir con el consumo que tendría dependiendo de los cambios en la envuelta del edificio o de los sistemas. Una vez calculado el consumo se realizará el análisis del CCV, que expondrá coste frente a consumo, para conocer el rango óptimo. Por último se terminará incorporando la energía embebida para ver en qué proporción afecta tenerla en cuenta.

Y se concluirá con un análisis de los resultados, en el que se incluirán las ventajas y desventajas del autoconsumo. Con todo ello se pretende evaluar el coste energético de un edificio y ver las posibles mejoras tanto en la envolvente como en los equipos y así hacer reducciones considerables respecto a un caso inicial. Además cabe destacar que hay que cumplir una serie de requisitos que se explican en el capítulo del marco normativo.



## 2. Situación energética.

---

Si bien los recursos energéticos son abundantes en el mundo, las reservas de energías primarias son escasas, variables y están repartidas de forma desigual por todo el planeta.

Desde comienzos del presente siglo se ha reforzado el cuestionamiento del modelo energético vigente, que está basado preferentemente en los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural. Resultan cada vez más evidentes los límites de dicho modelo.

En estas condiciones resulta extremadamente limitado el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía y existen enormes reservas no utilizadas de ahorro y eficiencia energética.

### 2.1. Evolución de la situación energética en el mundo.

La situación energética mundial actual es el resultado de la combinación de diversas tendencias económicas, políticas, tecnológicas, sociales y ambientales, entre otras que confluyen en un complejo panorama de crisis y ajustes, signado en los años más recientes por una escalada de precios, sobre todo en los hidrocarburos y especialmente en el petróleo. [1]

La elevación de los precios del petróleo, desde comienzos de este siglo, ha reforzado significativamente el cuestionamiento del modelo energético basado en los combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral y gas natural), que avanzó gradualmente hasta llegar a ser dominante, a partir del último tercio del siglo XVIII con el advenimiento de la Revolución Industrial en Inglaterra. Luego de dos siglos de despliegue de tales patrones energéticos han resultado más evidentes los límites del modelo vigente, tanto en el orden económico (altos precios de la energía), como en el plano social (inequidad y pobreza energética) y ambiental (implicaciones adversas para el entorno). [1]

En estas condiciones, en pleno siglo XXI, persiste un modelo energético asimétrico y excluyente, con una elevada dependencia de los combustibles tradicionales de la biomasa —como la leña— en las poblaciones más pobres del planeta, que no tienen acceso a los combustibles modernos para cubrir sus necesidades básicas. Al propio tiempo, resulta extremadamente limitado el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, sobre todo las llamadas nuevas fuentes de energía renovable; y existen enormes reservas no utilizadas de ahorro y eficiencia energética. [1]

Muchos de estos problemas se han tornado más graves en los últimos 25 años, después de más de dos décadas de políticas neoliberales que estimularon la desregulación y la liberalización energética. Estas fórmulas de mercado resultaron extremadamente nocivas al propiciar el desmantelamiento del control estatal en diversos países y regiones, con el consecuente reforzamiento del control transnacional en esos segmentos estratégicos. [1]

Paralelamente se han reforzado los conflictos internacionales y las guerras de rapiña de las grandes potencias por el control de los recursos energéticos del planeta, sobre todo aquellos no renovables, como el petróleo y gas natural, que en su conjunto representan 60% de la energía comercial que se utiliza a escala global. [1]

En las condiciones actuales se impone la necesidad de una reestructuración energética global que cambie significativamente los patrones actuales de generación y consumo de energía y que promueva el desarrollo sostenible sobre bases de equidad y justicia social. [1]

Según las últimas estadísticas disponibles, los combustibles fósiles representan alrededor del 78% del consumo global de energía primaria, distribuidos de la siguiente forma: petróleo, 33%; carbón, 24%; y gas natural, 21%. El consumo restante está repartido entre las fuentes renovables (17%) y la energía

nuclear (5%). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el porcentaje de las fuentes renovables se divide a su vez entre las fuentes tradicionales de la biomasa (9%), la hidroelectricidad a gran escala (6%) y las llamadas «nuevas fuentes renovables», con apenas 2%. [1]

### 2.1.1. Dinámica del consumo de energía comercial en 1973-2005.

La composición del balance de energía comercial en los últimos 30 años, tanto a nivel global como en los países desarrollados y los subdesarrollados ha mostrado variaciones en dependencia, básicamente, del comportamiento de los precios internacionales de los hidrocarburos. En este sentido pudieran identificarse tres períodos fundamentales a partir de comienzos de la década de 1970: un período de altas cotizaciones del petróleo entre 1973 y 1985; uno de precios moderados, entre 1985 y 1999; y la escalada de precios registrada a partir de 2000. [1]

Durante el período de altos precios del petróleo comprendido entre 1973 y 1985, la participación del petróleo en el balance mundial de energía comercial se redujo de 48 a 39%, como resultado de la sustitución petrolera por fuentes alternativas. El resto de las fuentes aumentaron su participación, pero las más dinámicas fueron la energía nuclear y el gas natural. [1]

Los principales cambios en la composición del balance de energía comercial de los países desarrollados se registraron entre 1973 y 1985, al calor de los altos precios del petróleo vigentes en ese período. En esos años, el petróleo perdió posiciones de forma marcada (pasó de 52 a 42%), en tanto la energía nuclear y el carbón incrementaron su participación. En los países subdesarrollados, la participación del petróleo se redujo de 42 a 35% durante esos años. [1]

En el período 1985-2000, en que predominaron niveles de precios relativamente estables y moderados, se estancó la sustitución petrolera, el gas natural fue la fuente más dinámica y el carbón fue la fuente que más retrocedió. En los países desarrollados, la característica más notable fue el avance del gas natural, en detrimento del carbón. En los países subdesarrollados, al disminuir los precios, la proporción del petróleo aumentó de 35 a 40%, lo que estuvo acompañado de un aumento paralelo del gas natural de 10 a 14% y una marcada pérdida de posiciones del carbón de 46 a 35%. [1]

En el período de altos precios más reciente (2000-2005) se destaca un retroceso del petróleo, principalmente en el Tercer Mundo, así como una recuperación del carbón, sobre en todo en países subdesarrollados de Asia (China e India). La parte del petróleo en el consumo de los países subdesarrollados cayó de 40 a 33%, lo que revela la sensibilidad de ese indicador en estos países, ante las variaciones de los precios del petróleo. En los países industrializados, la participación de las principales fuentes de energía comercial se mantuvo prácticamente sin cambios en 2000-2005. [1]

### 2.1.2. Predominio de los combustibles fósiles y repunte de la energía nuclear.

Los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) representan alrededor del 90% de la demanda global de energía comercial y en un contexto como el de los últimos 25 años en que la elección tecnológica ha estado en función básicamente de los patrones del mercado, se ha favorecido el consumo de este tipo de combustibles. De acuerdo con fuentes especializadas, de mantenerse las tendencias y políticas actuales, el petróleo y el gas natural continuarán dominando la oferta energética mundial en las próximas décadas, a pesar del incremento de los precios de los hidrocarburos. [1]

#### *Petróleo*

En el caso del petróleo, se trata del combustible más comercializado (60% del petróleo producido se comercializa internacionalmente) y, consecuentemente, el comportamiento de sus precios impacta de manera significativa en el comercio y las finanzas internacionales. Este portador energético constituye, además, el principal componente del balance de energía comercial global (36%) y su dinámica de precios tiene implicaciones diferenciadas por grupos de países, según la ubicación en el comercio internacional de hidrocarburos (exportadores netos o importadores netos) y el nivel de desarrollo (alto, medio o bajo). [1]

La situación petrolera de los años transcurridos del presente siglo, sobre todo a partir de 2004, ha estado marcada por los altos precios, como expresión de diversos factores extraeconómicos y económicos, entre los que se encuentran el estado de creciente volatilidad, incertidumbre y especulación, que se ha reforzado a partir de la invasión y ocupación de Irak por EE.UU. y las fuerzas aliadas; la rigidez de la oferta petrolera, como expresión de las limitaciones productivas de la OPEP y de los problemas en la infraestructura de refinación; y la creciente demanda de hidrocarburos por parte de grandes consumidores como EE.UU., y países de rápida industrialización como China, India y otros. [1]

Entre los principales productores de petróleo en 2005 se ubicaban Arabia Saudita (14% de la producción global), Rusia (12%) y los EE.UU. (8%), y los mayores exportadores, según datos de 2004, eran Arabia Saudita (18% de las ventas mundiales), Rusia (15%) y Noruega (6%). [1]

Los principales consumidores en 2005 fueron EE.UU. (25% del consumo mundial de este producto), China (9%) y Japón (6%), y los mayores importadores, de acuerdo con estadísticas de 2004, eran EE.UU. (28% de las compras mundiales), Japón (11%) y China (7%) [BP, 2006; IEA, 2006]. [1]

Dentro de este selecto grupo de países se destaca la doble condición de EE.UU. como gran productor y mayor consumidor de hidrocarburos del mundo. [1]

En cuanto a las perspectivas del mercado petrolero, resulta preocupante la desaceleración en el crecimiento de las reservas de petróleo en los últimos veinte años, máxime si se tiene en cuenta la gran incertidumbre que persiste en este mercado y los largos períodos de maduración de las inversiones en exploración y desarrollo. [1]

Además, muchos países y regiones fuera del Medio Oriente (como Norteamérica, los territorios de la otrora Unión Soviética y el Mar del Norte), ya han alcanzado su pico productivo y otros lo alcanzarían en los próximos años, lo que se traduciría en un reforzamiento de la dependencia del Medio Oriente, donde se concentra más de 60% de las reservas mundiales. Todo esto favorecería la posibilidad de nuevas guerras y conflictos que inyectarían mayor inestabilidad en los mercados. [1]

La escalada de precios del petróleo registrada a partir de 1999 y reforzada desde 2004 ha impactado significativamente a los distintos grupos de países; pero existen marcadas diferencias en cuanto a la capacidad de las distintas economías para enfrentar situaciones de esta naturaleza. [1]

Existe una estrecha relación entre la participación de los distintos países en el consumo mundial de combustibles fósiles y su contribución a las emisiones del CO<sub>2</sub> como principal gas de efecto invernadero. Así, por ejemplo, EE.UU. absorbe 25% del consumo mundial de petróleo y aporta 24% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, lo que se traduce en emisiones de 20 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> anuales por habitante. En su conjunto, los países desarrollados consumen 61% del petróleo y emiten 63% del CO<sub>2</sub>; mientras en los subdesarrollados las proporciones correspondientes son 39 y 37%, respectivamente. [1]

### *Gas natural*

Al igual que en el caso del petróleo, las reservas probadas de gas natural se encuentran muy concentradas, con 69% ubicado en siete países (Rusia, Irán, Qatar, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, EE.UU. y Nigeria). De mantenerse la tasa actual de utilización de este combustible, las reservas probadas al cierre de 2005 alcanzarían para unos 65 años. [1]

Más de la mitad de la producción y el consumo de gas natural tiene lugar en Estados Unidos, Rusia y la Unión Europea. En 2005 los principales productores de gas natural fueron Rusia (22%), EE.UU. (19%), Canadá (7%), Argelia (3%), Reino Unido (3%), Noruega (3%) e Irán (3%); y los mayores exportadores fueron Rusia (24% de las ventas globales), Canadá (13%) y Noruega (10%). [1]

Los principales consumidores en 2005 fueron EE.UU. (23%), Rusia (15%), Reino Unido (3%), Canadá (3%), Irán (3%) y Alemania (3%), y los mayores importadores resultaron EE.UU. (15% de las compras mundiales), Alemania (11%) y Japón (10%) (BP, 2006; IEA, 2006). [1]

A diferencia del petróleo, la mayor parte del gas se consume localmente y solo se comercializa

internacionalmente 25%. La mayor parte del comercio internacional de gas natural se lleva a cabo regionalmente, sobre todo en Norteamérica y Europa, que responden por las cuatro quintas partes del intercambio comercial a través de gaseoductos. El resto del comercio se lleva a cabo, en lo fundamental, con buques tanqueros que transportan el gas natural licuado (GNL), en áreas como Asia-Pacífico y el Medio Oriente, donde la infraestructura del GNL está más desarrollada. Se prevé que para el 2030 se triplique el comercio global de gas natural, principalmente como gas natural licuado. [1]

El 38% del consumo mundial de gas natural va dirigido a la generación de electricidad, 27% a la industria y 27% al sector residencial / comercial. El transporte apenas capta 3 y el 5% restante se destina a otros usos. [1]

### *Carbón mineral*

El carbón es el más abundante de los combustibles fósiles; pero más de la mitad de las reservas probadas están ubicadas en solo tres países: EE.UU. (27%), Rusia (17%) y China (13%). Otros países con importantes reservas son India, Australia, Sudáfrica, Ucrania y Kazajstán. En 2005 los principales productores fueron China (38%), EE.UU. (20%), Australia (7%), India (7%), Sudáfrica (5%) y Rusia (5%); y los mayores exportadores fueron Australia (30% de las ventas globales), Indonesia (14%), Rusia (10%), Sudáfrica (9%), China (9%) y Colombia (7%). [1]

Este combustible fósil —el más contaminante— representa 28% del consumo de energía comercial (utilizado sobre todo en la generación de electricidad y procesos industriales). Solo se comercializa internacionalmente 17% del carbón producido, y en 2005 los principales consumidores fueron China (37%), EE.UU. (20%), India (7%), Japón (4%), Rusia (4%) y Sudáfrica (3%). Los mayores importadores eran Japón (23%), Corea del Sur (10%), China Taipei (8%), Reino Unido (6%), Alemania (5%) e India (5%). [1]

El dinamismo del carbón en el mundo subdesarrollado se explica, en lo fundamental, por la contribución de Asia —la región que experimenta el más rápido crecimiento del consumo energético en el mundo—, donde se ubican varios países con una elevada presencia del carbón en sus balances energéticos, como China e India. Este combustible representa 70% del consumo de energía comercial en China y 55% en la India. [1]

### *Tendencias de la energía nuclear*

La energía nuclear, que apenas representaba 1% del balance de energía comercial en 1973, llegó a aportar 5% en 1985 y desde entonces se mantuvo en torno a 6%, debido a la pérdida de dinamismo de este segmento energético en los últimos 30 años por razones económicas, ambientales, entre otras, que eclipsaron el auge registrado hasta comienzos de la década de los ochenta. [1]

En los últimos 25 años el aporte de la energía nuclear a la generación mundial de electricidad se ha mantenido en torno a 16%. [1]

Los principales productores de electricidad de origen nuclear son EE.UU (30% del total mundial), Francia (16%), Japón (11%), Alemania (6%), Rusia (5%) y Corea del Sur (5%). En general, 85% de la generación de este tipo de electricidad se concentra en los países de la OCDE [BP, 2006]. [1]

Los países más dependientes de la energía nuclear para la generación de electricidad son Francia (donde esta fuente aporta 79%), Lituania (70%), Bélgica (56%), Eslovaquia (56%), Ucrania (49%), Corea del Sur (45%), Suecia (45%), Bulgaria (44%), Armenia (43%) y Eslovenia (42%). [1]

### **2.1.3. Situación en los últimos diez años.**

Estamos en una era de inestabilidad en el precio de la energía. Esta inestabilidad es reflejo de dos características clave del suministro energético global actual: la inelasticidad de la demanda energética y el declive energético. [2]

Desde que en 2005 la producción de petróleo crudo convencional llegó a su máximo y comenzó a disminuir, se ha intentado suplir la progresivamente mayor carencia de esta materia prima energética con la introducción de diversos hidrocarburos líquidos, "no convencionales": biocombustibles, petróleo sintético derivado de las arenas bituminosas, Light Tight Oil obtenido mediante fracking... Todas estas fuentes de hidrocarburos tienen muchas limitaciones, y en particular dos: su mal rendimiento energético y económico, y que de manera práctica su producción está muy limitada. Únase a ello los indicios de que tanto carbón como uranio probablemente han llegado o están llegando a sus máximos de producción y que el gas natural podría llegar en unos pocos años a su cenit, y se verá que con una alta probabilidad estamos a pocos años vista de la llegada al cenit de la energía no renovable, la cual representa aún hoy en día el 91% de la energía primaria consumida en el mundo (BP Annual Review 2015). En cuanto al 9% restante, que proviene de energías renovables, dejando al margen que probablemente las fuentes renovables tienen limitaciones importantes, resulta difícil imaginar que puedan reemplazar al ritmo adecuado el vacío que rápidamente van a dejar detrás las fuentes no renovables, máxime cuando la apuesta que se hace por ellas a escala mundial es discreta. Por tanto, durante como mínimo los próximos 10-20 años vamos a vivir un período de fuerte declive energético. [2]

Esta combinación de inelasticidad en la demanda y de declive energético garantiza una gran volatilidad en los precios de la energía durante los próximos años, y así será hasta que no se concierten las medidas adecuadas para evitarlo. [2]

La experiencia de 2008 mostró que el mercado no puede asumir precios del barril de petróleo de mucho más de 100\$. [2]

Por su parte, la caída abrupta del precio del petróleo desde 2014 ha sido consecuencia no tanto del aumento de la producción de hidrocarburos líquidos (muy moderado y en la línea de los últimos diez años) sino más bien de la falta de demanda. [2]

La quiebra de empresas hace retroceder la demanda de petróleo de manera directa (por su cese de actividad) e indirecta (por la pérdida de renta disponible para proveedores y trabajadores). Cuando suficientes empresas han quebrado la demanda baja tanto que el precio del petróleo se acaba desplomando, de manera más abrupta cuanto más alto haya llegado a estar el precio del petróleo en el momento anterior. [2]

En un escenario de precios bajos son las empresas productoras de petróleo las que ven peligrar su viabilidad económica y financiera. Comienzan por ajustar costes, continúan por cancelar proyectos de exploración y desarrollo y finalmente pueden acabar quebrando. [2]

#### 2.1.4. Nuevos retos: la sostenibilidad energética.

A partir de los conceptos de desarrollo humano y de desarrollo sostenible, se pueden identificar tres dimensiones básicas de la sostenibilidad: económica, social y ambiental, como componentes de una misma agenda. [1]

Una reestructuración energética sostenible estaría llamada a resolver diversos problemas a escala planetaria, entre los que cabe mencionar:

- Implicaciones negativas de las tendencias alcistas en el precio de la energía para las economías nacionales.
- Vulnerabilidad social de amplios sectores de la población mundial, condicionada en alto grado por la escasa cobertura de servicios energéticos fundamentales.
- Impacto ecológico adverso del sector energético.
- Acelerado agotamiento de recursos energéticos no renovables, como el petróleo. [1]

Dada la naturaleza global de los problemas económicos y ecológicos que se pretende resolver con una reestructuración energética sostenible, se requieren cambios radicales en los patrones de producción y consumo de energía a nivel global. No obstante, el ritmo y los patrones concretos de este proceso en cada región o país dependerán de las condiciones específicas de cada caso. [1]

Los patrones de una reestructuración energética sostenible se orientan en dos direcciones básicas:

- Incremento del ahorro y la eficiencia energética.
- Desarrollo de las fuentes renovables de energía. [1]

#### *Ahorro y eficiencia energética*

Existe un enorme potencial para el ahorro y el uso eficiente de la energía en el mundo, aunque con significativas diferencias cuantitativas y cualitativas entre los países desarrollados y subdesarrollados. [1]

#### *Fuentes renovables de energía*

A pesar de sus grandes potencialidades para propiciar un desarrollo energético sostenible, las fuentes renovables de energía aún tienen una presencia muy limitada en el balance energético global. [1]

Las fuentes no renovables como los combustibles fósiles aportan 78% del consumo mundial de energía primaria (petróleo: 33%, carbón: 24% y gas natural: 21%) y la energía nuclear contribuye con 5%. [1]

En medio de estas realidades, aumentan las presiones para promover las fuentes renovables, y consecuentemente la dinámica inversionista en este sector ha aumentado a un ritmo promedio anual de casi 18% entre 1995 y 2004. Las inversiones en fuentes renovables en 2004 (excluyendo a la hidroelectricidad de gran escala) totalizaron 30 mil millones de dólares, lo que representa 20-25% de lo invertido globalmente en la generación de electricidad. [1]

El segmento más dinámico de las fuentes renovables en los últimos años ha sido la tecnología solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica, cuya capacidad instalada se incrementó a razón de 60% anual en 2000-2004; y en segundo lugar se ubica la eoloelectricidad con un crecimiento anual de 28% en igual período. [1]

El 23% de la capacidad instalada globalmente para la generación de electricidad corresponde a fuentes renovables (19% corresponde a la hidroelectricidad en gran escala y el restante 4% a las «nuevas» fuentes renovables). [1]

El debate más reciente acerca de los biocombustibles dedica especial atención a los desafíos sociales y ambientales asociados a la producción de estos portadores energéticos. [1]

Si bien se ha registrado un rápido desarrollo de tecnologías modernas y más eficientes para el aprovechamiento de las fuentes renovables, sobre todo en países desarrollados y de industrialización reciente, los progresos ulteriores en esta área se ven eclipsados por los grandes subsidios que continúan favoreciendo los combustibles fósiles (unos 150-250 mil millones de dólares por año) y a la energía nuclear (16 mil millones de dólares anuales), según estimados de Naciones Unidas y de la Agencia Internacional de Energía (AIE) [REN21, 2005]. [1]

La experiencia histórica ha demostrado que los países que más se han rezagado en el desarrollo de fuentes renovables de energía y en el aprovechamiento de las reservas de eficiencia energética han tenido que pagar los mayores costos en períodos de altos precios de los combustibles convencionales como el petróleo. [1]

La mayor parte del Tercer Mundo, sobre todo aquellos países más pobres que son importadores netos de energía, muestran un escenario muy sombrío, donde las tendencias alcistas de los precios de los hidrocarburos se combinan con las implicaciones adversas de una creciente deuda externa, un incremento de los precios de los alimentos y una creciente vulnerabilidad económica, social y ambiental. En este contexto, los precios de los alimentos se han incrementado, adicionalmente, como resultado de los planes de expansión de los biocombustibles a partir de cultivos como la caña de azúcar, los cereales, la soja y otros. [1]

Sin políticas de intervención que favorezcan las fuentes renovables, su participación en el balance global

durante las próximas décadas no aumentará significativamente. Hasta el momento, las inversiones en Investigación y Desarrollo (I + D) con fines energéticos de los países industrializados han favorecido sobre todo a los combustibles fósiles y a la energía nuclear en detrimento de las fuentes renovables. [1]

### 2.1.5. Biocombustibles y subdesarrollo.

La bioenergía, en general, y los biocombustibles, en particular, son una fuente renovable de energía y su utilización racional y equilibrada, en función de prioridades económicas, sociales y ambientales de algunas regiones y países —con condiciones para su producción—, puede contribuir a la mitigación del cambio climático y al desarrollo sostenible. Sin embargo, la actual fiebre de los biocombustibles, a los que se ha llegado a llamar el «oro verde», dista mucho de ponderar adecuadamente las dimensiones económicas, sociales y ambientales de este proceso y se inserta en las actuales tendencias globalizadoras como un nuevo mecanismo generador de pobreza y subdesarrollo. [1]

Para los productores actuales y potenciales de biocombustibles en América Latina, Asia y África, un escenario de exportación de biocombustibles en gran escala implicaría que buena parte de las tierras agrícolas, dedicadas actualmente a la producción de alimentos —e incluso ecosistemas naturales sensibles— serían utilizadas para cultivar materias primas para la producción de combustibles. [1]

En un mundo que cuenta con más de 850 millones de hambrientos, este modelo resulta extremadamente excluyente, pues pondría en mayor peligro la soberanía alimentaria y la salud de los ecosistemas en diversas partes del planeta, sobre todo en el área subdesarrollada. Bajo este esquema, los países del Tercer Mundo aportarían la tierra y su fertilidad, mano de obra barata y se quedarían con todos los daños ambientales provocados por las grandes plantaciones de las que se extraerán los biocombustibles. [1]

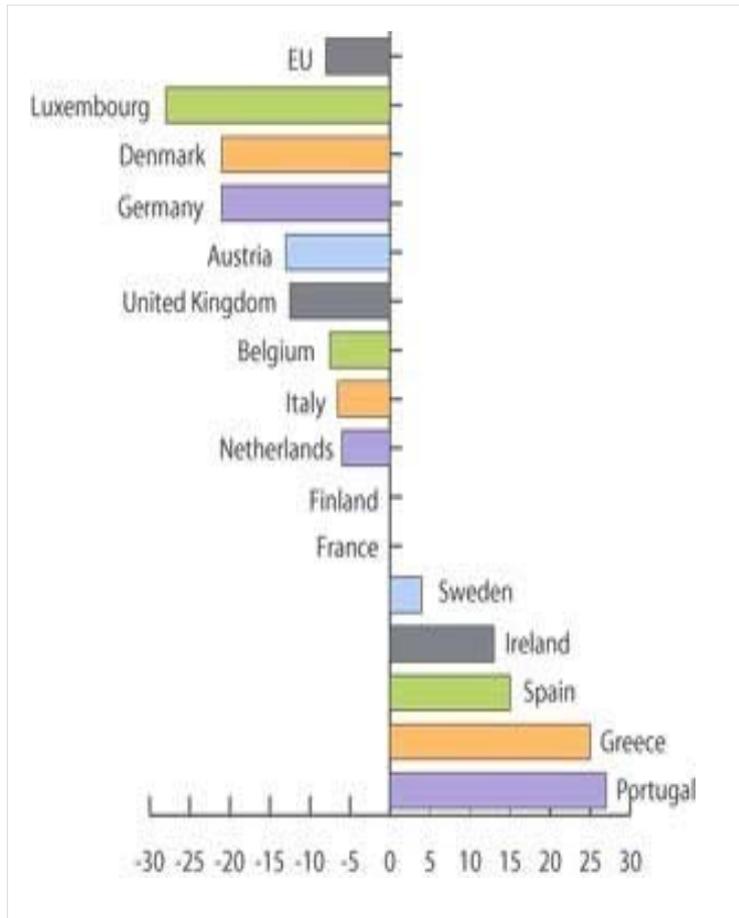
### 2.1.6. Cambio climático.

El cambio climático ha sido un tema muy recurrente que ha dado lugar a numerosas opiniones. Pero se está produciendo un cambio desde las últimas décadas. Empezó el cambio a partir de la revolución industrial que ha hecho que la temperatura de la tierra haya aumentado 0.5°C, y se estime que habrá un aumento de 2°C para el año 2050.

A lo largo de los últimos años hemos podido observar los impactos que está dejando dicho cambio. No es sólo sobre el clima también afecta al medio ambiente y al ser humano en consecuencia. Un ejemplo de dicho puede ser el aumento de las olas de calor y como consecuencia de ello un aumento de la mortalidad. Un aumento de la temperatura que provoca el adelanto de la primavera y que hace que los procesos que tienen lugar en ese tiempo se adelanten también. Por ejemplo la migración, la puesta de huevos, inundaciones, incendios, sequías. Todos estos son ejemplos de que el cambio climático no solo afecta a una zona de la tierra sino al planeta entero.

Como consecuencia de esto, se está empezando a tomar conciencia de dicho problema. El protocolo de Kioto es un acuerdo internacional que se asumió en 1997 y lo firmaron 163, cuyo objetivo es reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. En (figura 2-1), se puede ver cuáles eran los objetivos a cumplir.

Este acuerdo no afecta a países en vías de desarrollo reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero pero sí para el resto. Para llevar a cabo dicha reducción se tomaron como base las emisiones generadas en 1990. Para verificar si dichas reducciones se van llevando a cabo se medirían desde el año 2008 al 2012. Este protocolo fue el primer paso para la reducción y el control de las emisiones globales del planeta.



En España se consentía un aumento del 15% de sus emisiones respecto a 1990. Pero nos hemos sobrepasado y estamos tomando medidas aunque se torna difícil la cosa.

Además del protocolo de Kioto la UE ha propuesto un paquete de medidas sobre cambio climático que prevé objetivos para 2020. Los compromisos de la UE son:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%
- Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor una mayor eficiencia energética.
- Promover las energías renovables hasta el 20%.

Centrándonos el consumo final por sectores:

- Industria 25%
- Transporte 30%
- Edificación 30%
- Otros 15%

Como se puede ver el consumo en edificación es un porcentaje considerable y en concreto en España en las dos últimas décadas ha habido un fuerte crecimiento. La estrategia de ahorro y eficiencia energética en España (E4):

- Edificación. Incluye iluminación, climatización y ACS.
- Equipamientos que cubre electrodomésticos, preparación de alimentos, equipo ofimático y otros equipos.

## 2.2. Situación de las energías renovables en España.

La dependencia energética de España se sitúa en el 70,8%, muy por encima de la media de la Unión Europea (53,8%), según los últimos datos publicados por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo en el Balance Energético 2012. Esto supone que en España, del total de energía consumida, solamente el 29,2% corresponde a energía autóctona. [3]

La energía primaria utilizada en España proviene en un 75,3% de combustibles fósiles altamente contaminantes (petróleo, gas y carbón). Esta característica del suministro energético nos aleja de los compromisos del Protocolo de Kioto (ratificado para el periodo 2013-2020), [3]

Las energías renovables se han convertido en una parte importante del mix energético nacional, con una participación del 12,2% en la energía primaria y del 30,3% en la generación de electricidad en 2012. [3]

España será uno de los países que incumpla en mayor medida sus propios objetivos de porcentaje de renovables en el año 2020 (fijado en un 20%), según un informe publicado por la Comisión Europea para analizar la situación de los Estados miembros en relación a la transposición de la Directiva de energías renovables (2009/28/CE). [3]

### 2.2.1. Fotovoltaica

España experimentó un crecimiento a partir de 2008 debido a los incentivos que se otorgaban. Sin embargo esto se desbordó las previsiones por lo que se ha ido cambiando la legislación por lo que se ha frenado bastante la creación de nuevas instalaciones, tal y como se puede ver en la siguiente figura. [4]

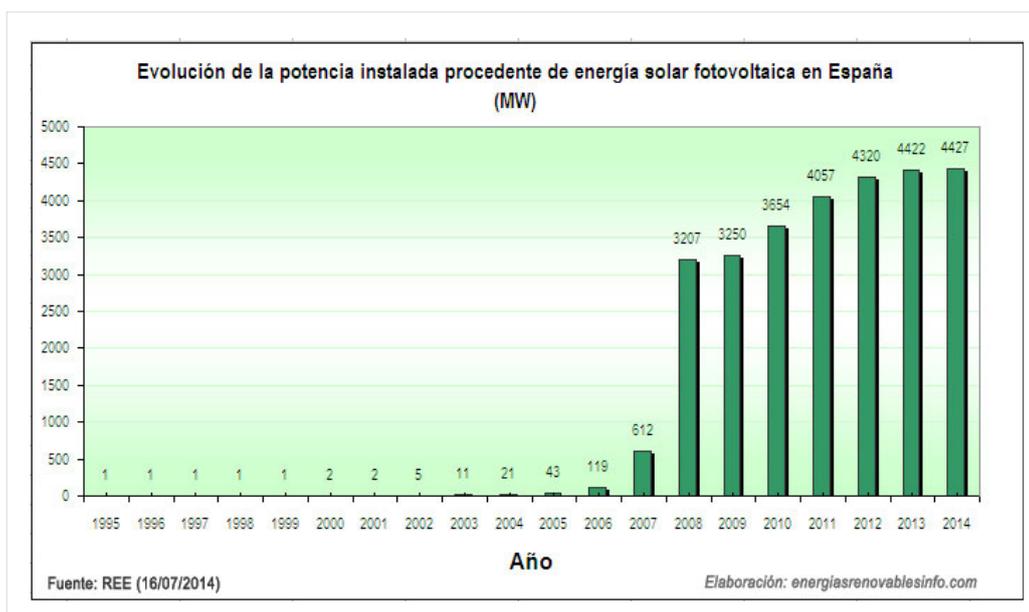


Figura 2-2. Evolución de la potencia instalada procedente de energía solar fotovoltaica en España

Uno de los aspectos más polémicos de la normativa actual es la penalización al autoconsumo. Esta normativa fue explicada anteriormente. El porcentaje de la fotovoltaica respecto al resto de las fuentes de energías renovables supone el 0.2% del total. [4]



Figura 2-3. Cobertura de la emanda máxima horaria peninsular.

### 2.2.2. Geotérmica.

Ha sido posible evaluarse el potencial geotérmico de las áreas más importantes que se sitúan en el sureste (Granada, Almería y Murcia), en el nordeste (Barcelona, Gerona y Tarragona), en el noroeste (Orense, Pontevedra y Lugo) y en el centro de la península ibérica. En todos estos casos los recursos geotérmicos son de baja temperatura, 50-90°C. La única área con posibilidades de existencia de yacimientos de alta temperatura se localiza en las Islas Canarias. [5]



Figura 2-4. Central de Soutz-sous-Forêts en Francia. / BRGM-ADEME

La generación de calefacción, refrigeración y electricidad a partir de la energía geotérmica es una opción viable en España. [6]



Figura 2-5. Instalación geotérmica tipo en edificio.

En el mundo había instalados 12.56 GW de energía geotérmica para generación eléctrica en el año 2012. [6]

El uso de la geotérmica con fines térmicos lleva en el centro y norte de Europa lleva ya un largo recorrido con más de un millón de intercambiadores geotérmicos funcionando. Aunque en España no está demasiado desarrollado debido a una mayor inversión inicial. [6]

### 2.3. Situación energética actual en los edificios nueva construcción.

Ya desde el año 2007 todos los edificios que se construyen cuenta con su certificado de eficiencia energética. Este certificado se ejecuta en dos fases: primero se realiza el certificado energético del proyecto y una vez acabada la obra se confirma su calificación energética con el certificado energético del edificio terminado. [7]

Aunque la normativa no obliga todavía a cumplir una calificación energética mínima, los edificios de nueva construcción suelen recibir las calificaciones energéticas más altas, de la A a la C. Esto se debe a que desde el 2007 se cumplen los requisitos mínimos del nuevo código técnico de la edificación (CTE) sobre el ahorro de energía y el aislamiento térmico. El CTE especifica unas exigencias para el ahorro de energía que se deben cumplir para el proyecto, construcción y mantenimiento de los edificios. Estas exigencias se dividen en cinco grupos:

- Limitación de demanda energética
- Rendimiento de las instalaciones térmicas
- Eficiencia energética de las instalaciones térmicas
- Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
- Contribución mínima de energía eléctrica [7]

Cumpliendo estas exigencias, la calificación energética de las viviendas nuevas deberá estar por encima de la D. Es habitual en la certificación energética de nuevos edificios que se alcance la C y la B, y hasta hay promociones que ya se anuncian con la calificación energética A. [7]

La Unión Europea ha adoptado una serie de medidas que permitirán reducir el consumo de energía y harán posible que la Unión cumpla el Protocolo de Kyoto y el con triple objetivo para 2020:

- 20% de reducción de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.

- 20% de aumento de la eficiencia energética
- 20%, del consumo total de energía, procedente de fuentes renovables. [7]

Entre estas medidas está la que obliga a que los edificios de nueva construcción a partir del 31 de diciembre de 2020, sean edificios de consumo de energía casi nulo. Esto significa que los edificios de nueva construcción deberán tener unas demandas de energía casi nula o muy baja y que esta demanda deberá estar cubierta por energía que proceda de fuentes renovables. Cada país miembro determinará que calificación energética e índice de consumo energético se considerarán de consumo de energía casi nulo. Suponemos que en cualquier caso serán edificios que se sitúen en lo más alto de la escala de certificación energética. [7]

## **2.4. Posibilidades de ampliación a la rehabilitación energética de edificios.**

En 2050, 10 millones de viviendas principales construidas en España antes de 2001 pueden ser transformadas en residencias altamente eficientes, más cómodas, de bajas emisiones de gases de efecto invernadero y de mayor valor económico. [8]

La Hoja de Ruta del informe GTR (Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación) de 2011 y su Plan de Acción de 2012 describen la creación de un Nuevo Sector de la Edificación, en el que se prevé la creación de 150.000 empleos directos estables y de calidad entre 2012 y 2050 al hacer posible la inversión de hasta 10.000 millones de euros anuales para la rehabilitación de entre 250.000 y 450.000 viviendas principales al año. Las tasas de rehabilitación pronosticadas por el GTR son consistentes con una tasa agregada de rehabilitación profunda del 2-3%, muy en línea de lo que la UE considera como óptimo. [8]

El método del GTR busca una transformación altamente eficiente con un horizonte de inversión de 20 años. La transformación de las viviendas españolas es una tarea estratégica y de larga duración y, como tal, exige a los propietarios y ocupantes a tomar decisiones basadas en horizontes de ahorro de 20 años. Los costes de las intervenciones varían dependiendo del tamaño de la vivienda, tipo y región climática, pero para una residencia típica de 80m<sup>2</sup> éstos pueden estar entre los 14.000-24.000 euros para llegar a los objetivos de 70-80% reducciones de las necesidades de calefacción, refrigeración y energía para el calentamiento del agua. [8]

390.000 millones de euros de ahorros agregados en 2050 superan la inversión de 260.000 millones requerida. Y las subvenciones públicas necesarias se recuperan con los ingresos fiscales creados por el aumento de la actividad económica y la baja del paro. [8]

La inversión financiera en rehabilitación es un requerimiento inicial para el sector, pero los ahorros se prolongan durante décadas. El apoyo público requerido en el Plan de Acción del GTR (inicialmente del 25%) equivale a una inversión de 14.000 euros por puesto de trabajo creado. Hay estudios que demuestran que estas inversiones públicas resultan más que compensadas con el aumento de los ingresos fiscales a corto plazo, con la reducción de los pagos de seguridad social y con los ingresos de la aplicación del IVA a la propia rehabilitación. [8]

La rehabilitación de viviendas puede alcanzar el 45% del objetivo para España determinado en el artículo 3 de la Directiva de Eficiencia Energética. GTR proyecta un ahorro de 1.800 kTep en el año 2020 como resultado de la ejecución de su Plan de Acción, lo que representa alcanzar un 45% del objetivo de eficiencia energética general del país para 2020, en virtud del artículo 3 de la DEE. [8]

# 3. Marco normativo.

---

El sector de la construcción, y en concreto la edificación, es uno de los motores más importantes de la economía de un país. Sin embargo, este sector produce un notable impacto sobre el medio ambiente, ya que es responsable de un elevado consumo de recursos (energía, agua y materias primas) y puede generar gran cantidad de residuos y contaminación de aire, suelo y aguas.

La norma de referencia a escala europea es la Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. La Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) es la principal norma europea dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE, respecto a la edificación, en lo referente a contención de emisiones de gases de efecto invernadero, del consumo energético y eficiencia energética y de generación de energía a partir de fuentes renovables. Esta norma establece un marco general para la determinación de la eficiencia energética en los edificios e insta a los Estados miembros a establecer a escala nacional o regional una metodología de cálculo específica.

## Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios [24]

Trata de fomentar la eficiencia energética de los edificios por lo que debido a esto surge la obligatoriedad de la certificación energética, es decir, la calificación energética de los edificios.

## Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición) [25]

Modifica la directiva europea 2002/91/CE para aportar claridad al tema de la eficiencia energética.

Las novedades de esta Directiva es que introduce los siguientes términos:

- “Nearly zero energy building”, es decir, consumo casi nulo o de muy baja energía cubierto ampliamente por energías procedentes de fuentes renovables (incluyen las renovables in situ o en el entorno).
- “Cost optimal”, es decir, nivel de eficiencia energética que conlleve el coste más bajo en el ciclo de vida útil.

En la UE en el año 2018, todos los estados miembros deberán asegurarse de que todos los edificios públicos serán “nearly zero” y en 2020 se incluirán todos los edificios nuevos.

Su transposición al marco jurídico español se ha realizado a través del Real Decreto 314/2006.

## Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, donde se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) [26]

Se compone de un conjunto de normativas, cada una de las cuales se denomina documento básico. Regula el diseño, construcción, mantenimiento y conservación de las diferentes edificaciones, además de cumplir con unas medidas mínimas de funcionalidad, seguridad y habitabilidad.

En cuanto al Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) [27]. Tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía. Las secciones de este DB se corresponden con las exigencias básicas HE 1 a HE 5, y la sección HE 0 que se relaciona con varias de las anteriores. La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico “Ahorro de energía”.

Artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)

1. El objetivo del requisito básico “Ahorro de energía” consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

2. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.

3. El Documento Básico “DB HE Ahorro de energía” especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

#### 15.1 Exigencia básica HE 1: Limitación de la demanda energética

Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

#### 15.2 Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas

Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.

#### 15.3 Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

#### 15.4 Exigencia básica HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

En los edificios, con previsión de demanda de agua caliente sanitaria o de climatización de piscina cubierta, en los que así se establezca en este CTE, una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirá mediante la incorporación en los mismos de sistemas de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global de su emplazamiento y a la demanda de agua caliente del edificio o de la piscina.

Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

#### 15.5. Exigencia básica HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

En los edificios que así se establezca en este CTE se incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o suministro a la red. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.

Real Decreto 1027/2007, de 31 de julio, donde se aprueba el Reglamento de las Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE) [28]

El reglamento que se aprueba constituye el marco normativo básico en el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas.

Las medidas que este reglamento contempla presentan una clara dimensión ambiental. Por un lado, contribuyen a la mejora de la calidad del aire en nuestras ciudades y, por otro, añaden elementos en la lucha contra el cambio climático. En el primer caso, se tiene en cuenta que los productos de la combustión son críticos para la salud y el entorno de los ciudadanos. Por eso, ahora se prevé la obligatoriedad de la evacuación por cubierta de esos productos en todos los edificios de nueva construcción. También se fomenta la instalación de calderas que permitan reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y otros contaminantes, lo que supondrá una mejora en la calidad del aire de las ciudades. Asimismo, la contribución a la reducción de NOx debe facilitar el cumplimiento de compromisos ratificados por España, tanto internacionales (especialmente el Convenio de Ginebra sobre la contaminación transfronteriza a larga distancia) como comunitarios (en particular, la Directiva de Techos Nacionales de Emisión).

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

A efectos de la aplicación del RITE se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

El RITE se aplicará a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas que se reformen en los edificios existentes, exclusivamente en lo que a la parte reformada se refiere, así como en lo relativo al mantenimiento, uso e inspección de todas las instalaciones térmicas, con las limitaciones que en el mismo se determinan.

No será de aplicación el RITE a las instalaciones térmicas de procesos industriales, agrícolas o de otro tipo, en la parte que no esté destinada a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas.

Si nos centramos en el uso de renovables vemos como en los últimos años gracias al fomento que se le ha dado, ha crecido mucho el uso de la energía fotovoltaica, pero se ha visto frenada por el Real Decreto 900/2015.

Real Decreto 900/2015, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo [29]

Este real decreto no se aplica a instalaciones aisladas. La potencia instalada de una instalación fotovoltaica es la suma de las potencias máximas unitarias de los módulos fotovoltaicos de la instalación. [9]

Se distinguirán las siguientes modalidades de autoconsumo:

- Modalidades de suministro con autoconsumo. El consumidor dispone de una instalación para consumo propio y que no está dada de alta en el registro como instalación de producción. Esta modalidad corresponde al tipo 1 y solo se admite para los que tengan un máximo contratado de 100 kW. La máxima potencia instalada no debe superar la potencia contratada.

- Modalidades de producción con autoconsumo. Cuando se trate de un consumidor asociado a una instalación de producción inscrita en el registro administrativo de producción de energía eléctrica. Por lo que existirán el sujeto consumidor y el sujeto productor.
- Modalidades de producción con autoconsumo de un consumidor conectado a través de una línea directa con una instalación de producción. Existirán el sujeto consumidor y el sujeto productor.
- Cualquier otra modalidad de consumo de energía eléctrica proveniente de una instalación de energía eléctrica asociada a un consumidor.

Las modalidades de producción con autoconsumo y de producción con autoconsumo de un consumidor conectado a través de una línea directa con una instalación de producción, corresponden a la modalidad de autoconsumo tipo 2. [9]

Conceptos por los que hay que pagar: Peajes de acceso + cargos asociados a los costes del sistema + cargo por energía autoconsumida.

- Pagos por peajes de acceso: Cubre los costes de las redes de distribución y de transporte.
- Cargos asociados a los costes del sistema: Cubren los costes del sistema eléctrico que no son de transporte ni de distribución de energía.
- Cargo por energía autoconsumida: Es el pago por la función de respaldo que el sistema eléctrico realiza para permitir que se realice el autoconsumo. Los consumidores acogidos a la modalidad de autoconsumo tipo 1 conectados en baja tensión cuya potencia contratada sea inferior o igual a 10 kW estarán exentos del pago del cargo transitorio por energía autoconsumida. [9]

# 4. Tecnologías renovables.

Las energías renovables se obtienen de fuentes naturales inagotables y producen calor, electricidad y energía para el transporte. Proviene de forma directa o indirecta del sol:

- El sol nos ofrece su propia energía en forma de luz y calor: la energía solar fotovoltaica y térmica.
- El sol provoca cambios de presión que originan los vientos que generan la energía eólica.
- Las plantas y animales utilizan el sol para vivir, y acumulan su energía en los cultivos y en los residuos orgánicos que forman la biomasa y los biocarburantes.
- El calor que se acumula en la tierra es la energía geotérmica.
- El sol ordena el ciclo del agua, que es el recurso que utiliza la energía hidroeléctrica.
- El sol influye en las olas, las mareas y las corrientes marinas, que son fuentes de energía.
- Las energías renovables son limpias, abundantes y autóctonas [10]

## 4.1. Sistema fotovoltaico.

La base sobre la que se fundamentan los sistemas fotovoltaicos es el principio fotoeléctrico, por el que las radiaciones de la luz solar se pueden transformar en energía eléctrica. Esto tiene lugar en las células fotoeléctricas que son la unidad básica que componen los paneles fotovoltaicos.

El objetivo de una instalación fotovoltaica es producir electricidad directamente a partir de la radiación solar.

Las instalaciones fotovoltaicas se agrupan en dos grandes grupos: Instalaciones fotovoltaicas aisladas e instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.

### 4.1.1. Instalación fotovoltaica aislada.

Éstas permiten la generación de electricidad para el consumo directo de una vivienda unifamiliar que se encuentre aislada de cualquier red eléctrica pública de suministro. Su principal objetivo es la producción de energía eléctrica para su autoconsumo de modo que logre ser autosuficiente. Las aplicaciones más frecuentes para los que se utiliza son para bombeo de agua para riego, ganado o abastecimiento humano, y también para casas en el campo. [11]

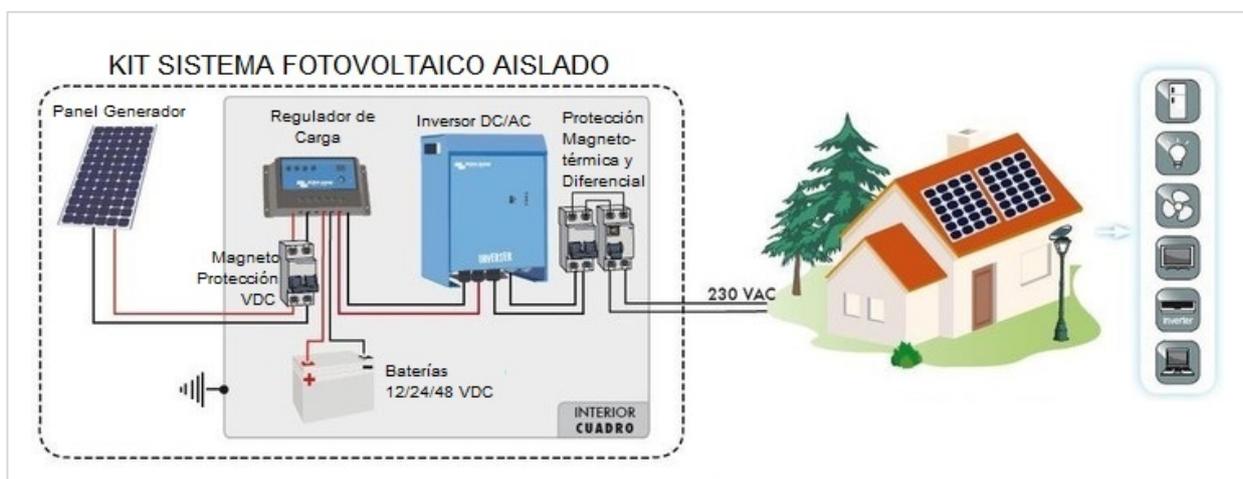


Figura 4-1. Instalación fotovoltaica aislada.

#### 4.1.2. Instalación fotovoltaica de conexión a red.

Tiene la particularidad de trabajar conjuntamente con la red eléctrica. Durante las horas de luz el usuario consume la energía eléctrica producida por su propia instalación, mientras que cuando no hay luz o ésta no es suficiente, o se requiere más energía eléctrica la red eléctrica garantizará el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria. Este tipo de instalaciones es el que está regulado en el marco normativo que anteriormente se ha explicado. Llevan inversores, contadores y protecciones eléctricas. Estando prohibidos la incorporación de baterías, generadores eléctricos, etc. dentro de dicha instalación.

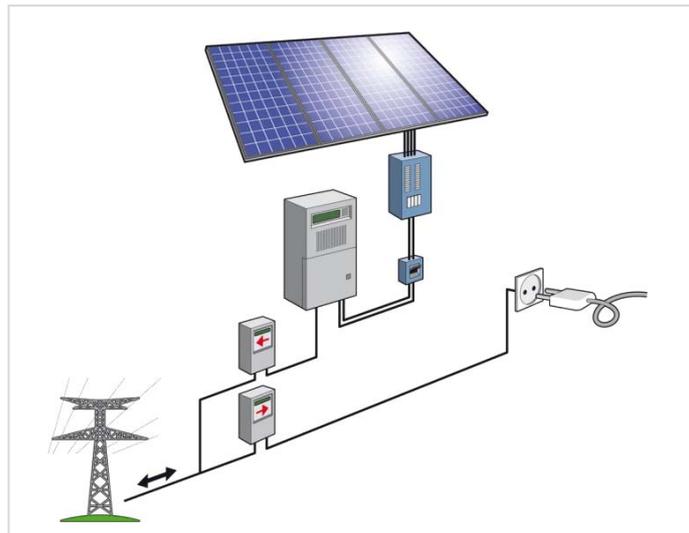


Figura 4-2. Instalación fotovoltaica de conexión a red.

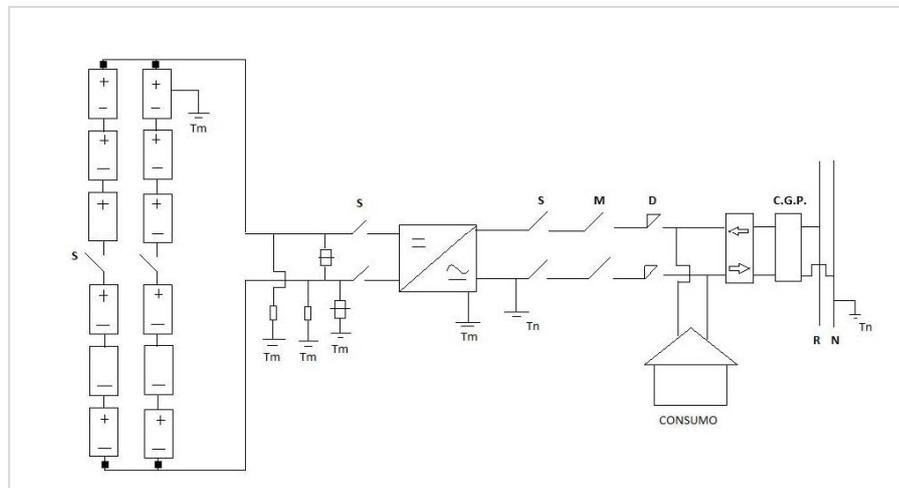


Figura 4-3. Esquema eléctrico instalación fotovoltaica de conexión a red.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden presentar los siguientes componentes:

**Paneles o módulos fotovoltaicos.** Formados por células solares asociadas entre sí. Éstas son dispositivos encargados de la captación de la radiación solar para transformarla en electricidad, generando una corriente continua. Es el principal componente de las instalaciones fotovoltaicas. En un módulo fotovoltaico mientras más radiación incida y menor sea su temperatura, la producción será mayor. Por otra parte habrá que evitar las sombras. La mayoría de las células solares están construidas utilizando como material semiconductor el silicio, en sus formas mono y policristalina. [11]

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante se obtienen sometiendo a los módulos a unas Condiciones Estándar de Medida (CEM) de

irradiancia y temperatura, que son siempre las mismas. Estas condiciones son las siguientes:

- Irradiancia solar: 1000 W/m<sup>2</sup>;
- Distribución espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula: 25 °C. [11]



Figura 4-4. Módulo fotovoltaico.

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas a las estándares.

Un módulo fotovoltaico suele trabajar dentro de un rango determinado de valores de intensidad y voltaje.

Según se indican en las siguientes gráficas de la figura 4-5, el valor de corriente generado por el módulo aumenta con la intensidad de radiación solar, sin embargo la tensión cae conforme aumenta la temperatura alcanzada en las células del módulo. [11]

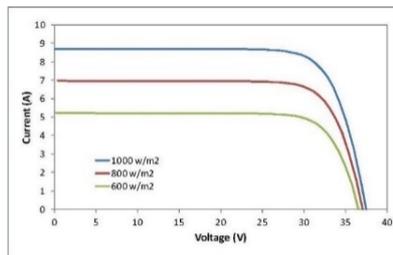


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiancia solar  
Temperatura constante de la célula (25° C)

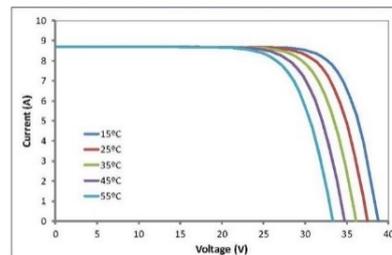


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula  
Valor de irradiancia solar constante (1000 W/m<sup>2</sup>)

Figura 4-5. Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos.

Inversor o convertidor DC/AC. Dispositivo que permite la conversión de la corriente continua que se ha generado en los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para que pueda ser utilizado en la vivienda. [11]



Figura 4-6. Inversor.

**Batería.** Ésta permite el almacenamiento de la energía que se produce durante el día con la radiación solar para que lo podamos disponer en ocasiones donde bien sea de noche o haya períodos de mal tiempo. [11]



Figura 4-7. Batería.

**Regulador o controlador de carga.** Es el encargado de controlar la carga de las baterías desde los paneles. Se usa para el control y protección de la batería. [11]



Figura 4-8. Regulador / controlador de carga.

**Protecciones.** Hay que incluir las siguientes protecciones eléctricas:

- Protección contra sobrecargas. Una sobrecarga ocurre cuando existe un valor excesivo de intensidad que puede ser debido a un defecto de aislamiento, una avería o una demanda excesiva de carga. Un dispositivo de protección contra sobrecargas podrá ser un fusible.
- Protección contra cortocircuitos. El origen de un cortocircuito puede ser una conexión o un defecto de aislamiento.
- Protección contra sobretensiones. Tiene origen en rayos que se realiza sobre las partes altas de la estructura metálica que soporta los paneles. La protección se realiza con los pararrayos. [11]

### **Ventajas y desventajas.**

Entre las múltiples ventajas que se obtienen al implantar una instalación fotovoltaica se encuentran:

- Es una energía descentralizada. Esto quiere decir que puede ser utilizada y captada en cualquier parte.
- Una vez instalada tiene un coste energético nulo. Esto es una ventaja. Sin embargo, en nuestro proyecto tendremos en cuenta el coste energético de su instalación.

- El mantenimiento y el riesgo de avería es bajo.
- Tecnología de rápido desarrollo que está reduciendo el coste y aumentando el rendimiento. [11]

No obstante también debido a ser una tecnología relativamente nueva tiene una serie de inconvenientes:

- Es necesario hacer una inversión inicial elevada por lo que el período de amortización es grande.
- Necesita una gran cantidad de espacio ya que entre sus múltiples defectos esta que las placas no deberían darse sombra (esto hay que modificarlo....).
- El rendimiento aun habiéndose mejorado considerablemente sigue siendo muy bajo entre un 15% y un 20%.
- El propietario corre a cargo del mantenimiento y de las posibles averías que se den. [11]

## 4.2. Sistema solar térmico.

Utilizan los rayos solares para obtener agua caliente. Unas placas especiales, denominadas colectores, concentran y acumulan el calor del Sol, y lo transmiten a un fluido que queremos calentar. Este fluido puede ser bien el agua potable de la casa o bien el sistema hidráulico de calefacción de la vivienda. [12]

En cuanto a la generación de agua caliente para usos sanitarios (ACS), hay dos tipos de instalaciones:

**ACS - de circuito abierto**, donde el agua de consumo pasa directamente por los colectores solares. Este sistema reduce costos y es más eficiente, pero presenta problemas en zonas con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas con alta concentración de sales que acaban obstruyendo los paneles. Los inconvenientes son la dificultad para emplear materiales que no contaminen el agua, el riesgo de vaporización y congelación, el funcionamiento a la presión de la red con peligro en los colectores, el no poder emplear anticongelante, el mayor riesgo de corrosión (aire en el agua), las posibles incrustaciones calcáreas. También están sometidos a más restricciones legales. [12]

**ACS - de circuito cerrado**, donde el agua de consumo no pasa directamente por los colectores solares. Este sistema es el más común. Se utiliza un líquido anticongelante que recorre los tubos dentro de los colectores y se calienta por la acción de la radiación solar. El líquido caliente atraviesa el circuito hidráulico primario hasta llegar al acumulador, en el interior del cual se produce un intercambio de calor entre el circuito primario y el secundario, es decir, entre el líquido anticongelante calentado en las placas solares y el agua que vamos a usar nosotros. En caso de que el agua contenida en el acumulador no alcance la temperatura de uso deseada, entra en funcionamiento automáticamente el sistema auxiliar, - caldera de gas o resistencia eléctrica-, que se encarga de generar el calor complementario. Todo el proceso es automático y vigilado por el sistema de control. [12]

Los sistemas también pueden clasificarse en función del tipo de circulación del fluido. Así, la circulación del fluido se consigue por:

**Circulación natural**, es el caso de un sistema termosifónico. En este caso, el depósito debe colocarse en un nivel superior a los colectores para permitir la convección por diferencia de temperatura. [12]

Los factores positivos de este sistema son de carácter económico y de simplicidad de instalación, porque los equipos termosifónicos no consumen energía eléctrica, ya que funcionan sin bomba. Esta característica ayuda a disminuir el consumo energético de la vivienda y convierte a los equipos en autónomos que siguen funcionando aunque el sistema eléctrico falle. [12]

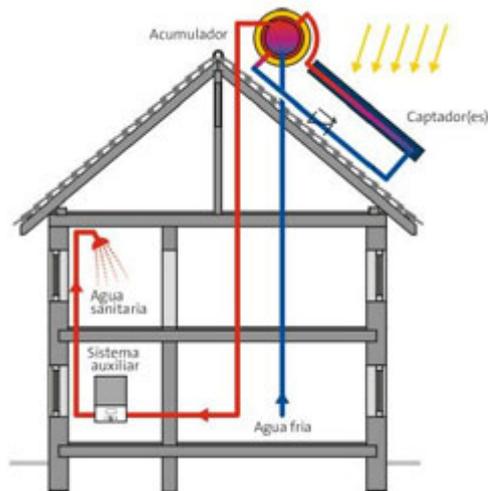


Figura 4-9. Esquema de funcionamiento de un sistema de acumulador, captadores para agua caliente sanitaria.

**Circulación forzada**, es el caso de un sistema con electrocirculador. Esta instalación evita los defectos propios de los sistemas de circulación natural. Como inconvenientes se encuentran las necesidades de energía eléctrica y de regulación y control de la circulación. Cuando el intercambiador está a una altura inferior a los colectores, el electrocirculador es imprescindible. Hay que incluir además una válvula antirretorno para evitar el posible efecto termosifónico nocturno. [12]

La circulación forzada ofrece un rendimiento superior al de un sistema de circulación natural, porque el fluido anticongelante circula de manera más rápida que el agua. [12]

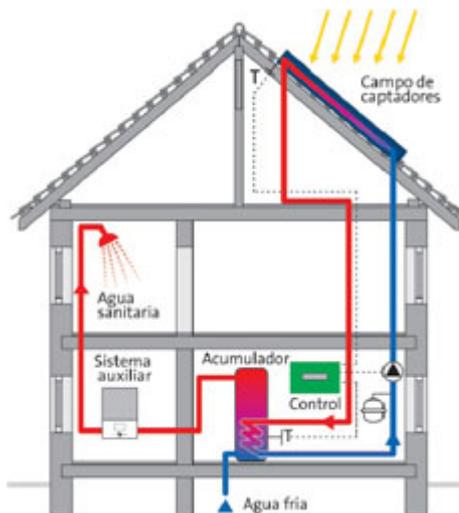


Figura 4-10. Esquema de funcionamiento con circulación forzada..

### Los colectores. Tipos y principio de funcionamiento.

Los colectores solares más empleados a nivel doméstico son los colectores planos, seguidos cada vez más por los colectores solares de vacío. [12]

Un **panel solar plano** se compone de una caja con aislamiento en el fondo y en los costados y sobre este aislamiento se monta la placa absorbedora, una plancha metálica a la que se encuentran soldados los tubos por los que circula el líquido a calentar. Los tubos que entran y salen del costado de la placa permiten que se pueda conectar el sistema a la instalación de agua. La carcasa, normalmente metálica, es la estructura que rodea el aislamiento posterior y soporta el vidrio, y debe ser totalmente estanca para evitar pérdidas de calor. La tapa frontal es de vidrio templado resistente a impactos y a las oscilaciones

térmicas o bien de determinados plásticos. [12]

El principio de un panel solar es utilizar la energía solar al permitir el paso de los rayos del sol a través de esta tapa hasta la placa absorbedora, donde los rayos de luz (de onda corta) son transformados en calor. El líquido anticongelante especial circula dentro de la placa absorbedora y, como se ha dicho anteriormente, se convierte en el medio de transporte del calor desde la placa hasta el depósito. [12]

Los colectores solares de tubos de vacío incluyen una innovación: se ha hecho el vacío en el espacio que queda entre el cristal protector y la superficie absorbente. Con este cambio se consigue eliminar las pérdidas por convección interna, porque internamente no hay aire que pueda transferirlas, y aumentar así la temperatura de trabajo y el rendimiento de la instalación. La forma de estos captadores no es plana, sino cilíndrica, porque permite efectuar mejor el vacío en su interior. Además, los colectores de tubos de vacío integran concentradores cilíndrico-parabólicos con los que se consigue mejorar el rendimiento durante las estaciones en que los rayos solares no inciden en el ángulo óptimo. [12]

También permiten adaptarse mejor a aquellos casos en que no es posible una instalación en la inclinación o dirección ideal, donde los paneles planos tendrían muy poco rendimiento. Esta propiedad hace que los captadores de tubos de vacío puedan integrarse aún mejor en la arquitectura. En general, los colectores deben estar homologados y presentar las garantías pertinentes. [12]

### Otros componentes de la instalación solar térmica

- **Depósito de agua caliente:** La función del depósito es conservar caliente el agua producida por los paneles solares durante un tiempo limitado, normalmente entre 1 y 4 días en el caso de sistemas pequeños. [12]
- **Bombas o electrocirculadores:** Estos elementos facilitan el transporte del fluido caloportador desde los colectores hasta el almacenamiento y luego al punto de consumo. Son accionados por un motor eléctrico que suministra al fluido la energía necesaria para transportarlo por el circuito a una determinada presión. El circuito va precedido de un filtro para evitar que entren impurezas procedentes de las soldaduras y del resto de la instalación hasta la llegada a la bomba. [12]
- **Válvulas y otros componentes:** Para evitar que el líquido anticongelante circule en la dirección opuesta cuando el sistema está apagado, se monta una válvula de paso de sentido único o una electro-válvula. Esta válvula antirretorno evita retrocesos del fluido caloportador desde el colector a la bomba causados por la convección natural. [12]
- Si se escoge una **válvula de paso único**, es aconsejable montarla en una parte horizontal del tubo y nunca en el fondo, ya que partículas de suciedad podrían interferir en el funcionamiento de la válvula. [12]
- Otro elemento muy importante del sistema es el **vaso de expansión** que absorbe las dilataciones del agua en las instalaciones de agua caliente sanitaria. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido caloportador (aumento de temperatura), el fluido sobrante entra en el vaso y empuja la membrana. El gas utilizado (nitrógeno, que no oxida ni estropea la membrana) se comprime, evitando así variaciones de presión en el circuito. [12]
- Las instalaciones también disponen de un **purgador** que extrae el aire que se pueda formar dentro de las conducciones, así como de un grifo mezclador a la salida del acumulador para permitir la mezcla de agua fría con la procedente del colector, para evitar el riesgo de quemaduras en momentos en que el colector alcance temperaturas muy elevadas. [12]
- **Líquido anticongelante:** Un líquido ideal para transportar el calor en una instalación solar térmica debería ser anticongelante, no hervir, no corroer, ser atóxico, tener una alta capacidad calorífica y un gran coeficiente de transmisión de calor, no se debe gastar y debe ser económicamente accesible. Este líquido ideal "no existe", lo más cerca que se ha llegado a los parámetros ideales es un porcentaje del 60% de agua y un 40% de glicol (Etilenglicol o Propilenglicol). [12]

Para que el período de garantía de la instalación siga vigente solamente debe emplearse el líquido recomendado por el fabricante, pues de lo contrario experimentando con otros líquidos se corre el riesgo de cargar con grandes costos en reparaciones del sistema por parte del instalador o usuario. [12]

- **Aislamiento:** El aislamiento de colectores y conducciones, incorporado por el fabricante, es necesario para reducir tanto como sea posible las pérdidas de calor y mantener la temperatura del agua calentada por el sol. Pero por otro lado, los tubos suelen ponerse muy calientes, especialmente si el sistema está parado, por lo que es necesario que el aislamiento de los tubos pueda soportar temperaturas de hasta 150°C. [12]



Figura 4-11. Colectores solares con depósito integrado.

Se supondrá que se coloca un equipo compacto por termosifón para cumplir la exigencia básica HE 4.

### 4.3. Energía eólica.

Una instalación de energía eólica está formada básicamente por un molino o un rotor con varias aspas que al girar por la acción del viento pone en marcha un generador eléctrico, el cual se suele sujetar a un mástil. Se deberá tener en cuenta la gran importancia de la ubicación del edificio y de las características del lugar que la rodean, de manera que a rasgos generales será más viable cuanto mayor sea la intensidad del viento, dependiendo de la altitud, ya que a mayor altitud mayor velocidad, y también del terreno, con mayor velocidad en llanuras o zonas próximas al mar. Por tanto, se darán mejores condiciones en edificaciones o construcciones aisladas, que estén próximas al mar, en zonas altas y cuando no existan gran cantidad de obstáculos en las proximidades que frenen al viento. [13]

La instalación eólica típica para edificios y viviendas se procederá a la instalación de sistemas mediante instalaciones micro-eólicas, con generadores eólicos compactos capaces de generar una potencia eléctrica inferior a 100 KW, bien aisladas o bien en sistema híbrido junto con la instalación solar fotovoltaica. En este tipo de instalación se deberá elegir un lugar idóneo por lo que se precisa la realización de un estudio de la velocidad del viento, también se estudiará su viabilidad económica, analizando costes y beneficios generados, pero hay que tener en cuenta que la mejora y el avance tecnológico permite disponer de instalaciones más eficientes y más baratas. [13]

La función principal de la minieólica era desde su origen, cubrir la demanda de energía para el uso de electrodomésticos en hogares con poco consumo, de manera que una instalación de este tipo cubría su demanda media con una potencia instalada de:

- 10 kWh para cubrir el consumo total de una familia promedio de EEUU.
- 4 kWh para cubrir el consumo total de un hogar promedio europeo.
- 1 kWh para cubrir el consumo total de una familia promedio en China. [14]

El tamaño de las instalaciones de pequeña potencia ha ido creciendo, debido fundamentalmente a la creciente demanda de grandes sistemas conectados a red, en detrimento de los sistemas aislados. [14]

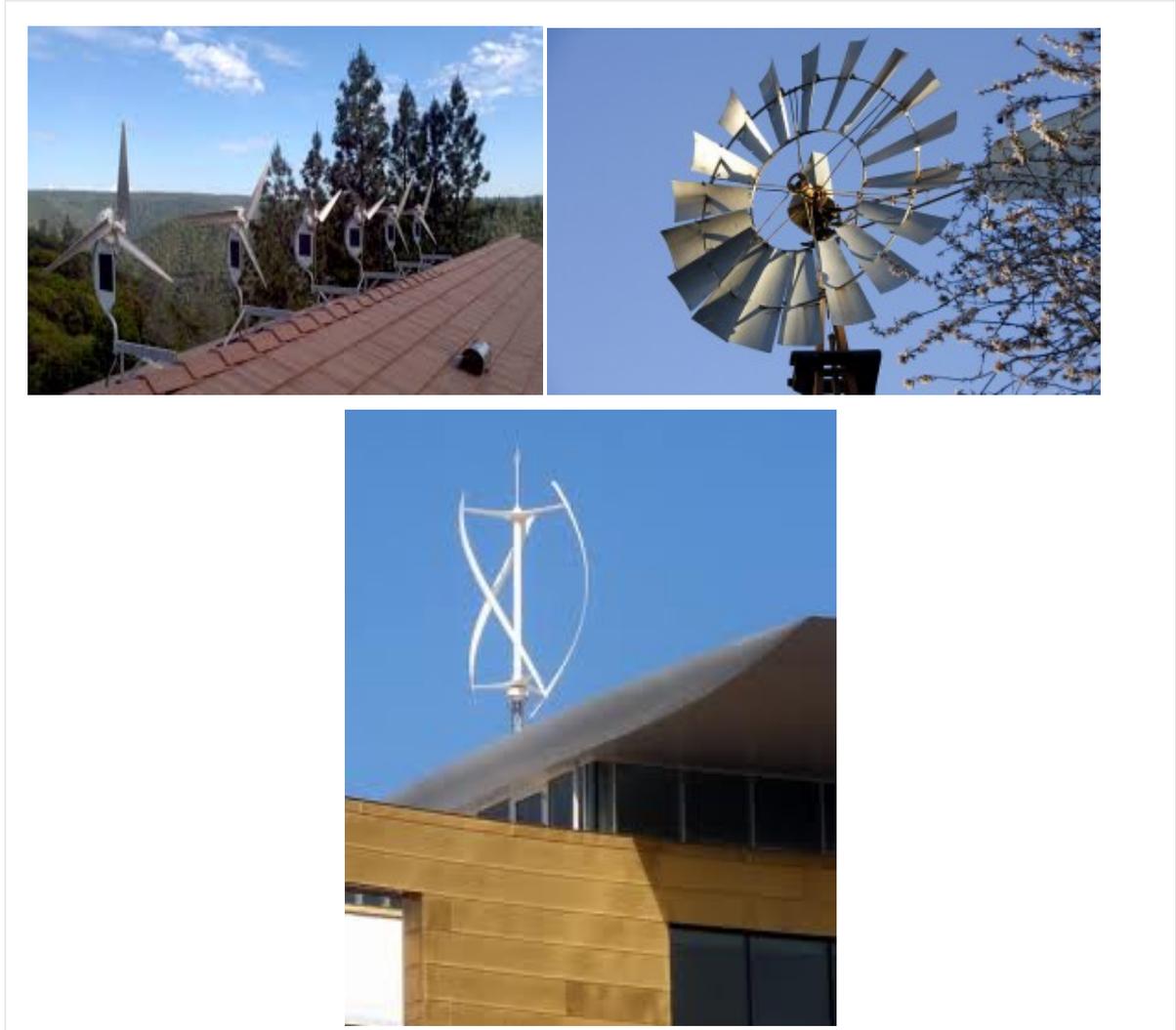


Figura 4-12. Equipos de energía minieólica.

Características fundamentales de la minieólica:

- La característica fundamental es el bajo impacto ambiental.
- Generan energía próxima al punto de consumo, por lo que se evita las pérdidas por transporte de la generación distribuida. En el caso de instalaciones conectadas a la red, optimiza su aprovechamiento y se conecta directamente (red eléctrica distribuida existente).
- Al igual que la fotovoltaica, proporciona energía en lugares aislados, y se puede instalar como complemento a otro tipo de instalaciones ligadas al autoconsumo (placas fotovoltaicas).
- Es una instalación sencilla, que se transporta e instala fácilmente. Su coste de mantenimiento es bajo.
- Requiere solo vientos moderados, y se puede instalar en pequeños emplazamientos o terrenos. Se instala bien en suelo o en cubierta. [14]

## 4.4. Biomasa.

Utiliza como materia prima los pellets, los restos de la poda, huesos de oliva, las cáscaras de almendras, (generalmente residuos de actividades agrícolas y forestales o subproductos de la transformación de la madera) para generar energía térmica para agua caliente sanitaria y calefacción. Existen también otros tipos de biomasa húmeda procedente de la fabricación de aceites vegetales entre la que se encuentra los biocombustibles como el biodiesel o etanol, que sobre todo son eficientes para calderas de cogeneración con tecnologías tipo Stirling, pero se remitirá a la biomasa sólida. [13]

En el caso de viviendas unifamiliares o edificios de viviendas, se consigue obtener un elevado ahorro energético y gran eficiencia con la implantación de calderas de biomasa, para generar calor para agua caliente sanitaria y calefacción. [13]

Componentes y esquema de una instalación de caldera de biomasa para ACS y calefacción para una vivienda:

- Acumulador.
- Caldera de pellets. Se compone de la cámara de combustión, zona de intercambio, cenicero y caja de humos.
- Transporte automático de pellets. Sistema de alimentación mediante un tornillo sin fin.
- Entrada de pellets.
- Almacén de pellets. [13]



Figura 4-13. Caldera de biomasa.

### Ventajas y desventajas:

- La tecnología es análoga a la de calderas de combustible fósil y los equipos no son excesivamente caros.
- Se considera que tiene una emisión nula de dióxido de carbono.
- Los pellets resultan mucho más rentables que otros combustibles como el gasóleo o el propano, esta relación determina su amortización.
- La biomasa tiene un poder calorífico inferior al de los combustibles fósiles, por lo que, se necesita mayor cantidad para obtener la misma energía.
- En algunos tipos de caldera se necesita combustible procesado, por ello es necesario comprar el combustible a un tercero especializado, ya que es posible que biomasa sin procesar no sea aceptada por el mecanismo alimentador.
- No se integra fácilmente en el conjunto arquitectónico de la vivienda y ha de situarse en un local especialmente habilitado para ella. [13]

## 4.5. Geotérmica.

La energía geotérmica es aquella que aprovecha el calor interno de la Tierra. Las características generales son que es renovable, continua, limpia y eficiente. [15]

### Bombas de calor geotérmicas.

Una bomba de calor es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo. La bomba de calor geotérmica extrae la energía térmica del suelo en invierno para transmitirla al interior del edificio en cuestión y en verano extrae el calor del edificio y lo transfiere al suelo. [15]

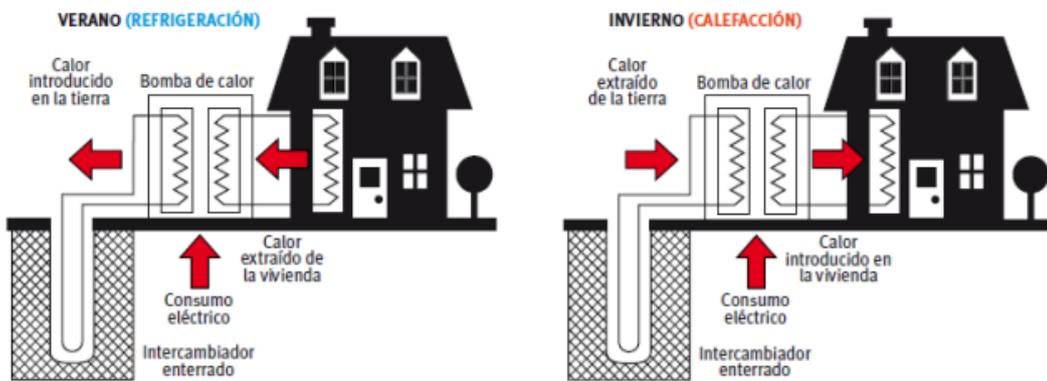


Figura 4-14. Esquema de bomba de calor geotérmica.

El polietileno (PE) y polibutileno (PB) son los materiales más comunes en los tubos de los intercambiadores de calor enterrados. [15]

El principio de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica se basa en el ciclo termodinámico de compresión, para un ciclo de calefacción en invierno, un medio refrigerante extrae el calor del medio ambiente exterior (suelo), evaporándose a continuación. Un compresor eleva la presión y temperatura del refrigerante (gas), y posteriormente transfiere el calor al interior del recinto al condensarse el medio refrigerante. El fluido refrigerante en estado líquido y a una alta presión y temperatura se expande en la válvula de expansión, reduciendo su presión y temperatura. [15]

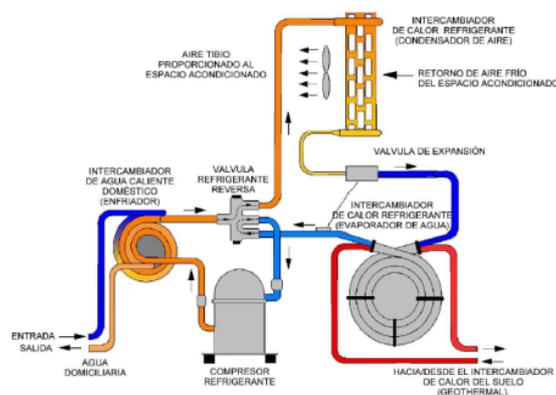


Figura 4-15. Esquema de funcionamiento de bomba de calor geotérmica.

Las bombas de calor pueden estar alimentadas por corriente eléctrica o por motores a gas. [15]

## Componentes.

- **Bomba geotérmica.** Esta bomba es la encargada de realizar el intercambio de energías tanto en verano como en invierno.
- **Intercambiador.** Conectado con la Bomba geotérmica y formado por tuberías plásticas de alta resistencia (ejem. Polietileno de alta resistencia) introducidas en el terreno de forma vertical u horizontal. Por estas tuberías circula agua con algún tipo de solución química como anticongelantes.
- **Bomba hidráulica.** Bombea el agua entre los colectores. [15]

## Tipos de instalaciones.

La denominación de la instalación dependerá de los intercambiadores.

**Verticales:** Como su propio nombre indica se trata de una instalación vertical que alcanza una profundidad de entre 50 y 150 metros. Este tipo de instalaciones se están empezando a utilizar en edificios de nueva construcción realizado por pilotes, lográndose así lo que se domina como cimentación activa. La ventaja con los sistemas horizontales se puede ver claramente, se trata del espacio necesario para la instalación. [15]



Figura 4-16. Intercambiador vertical.

**Horizontales:** La problemática de las instalaciones horizontales radica en el espacio necesario para la implantación de las tuberías, necesitándose un espacio entre 1,25 y 1,5 veces la superficie que queremos calentar. Estas instalaciones se encuentran a una profundidad entre 5 y 10 metros. [15]



Figura 4-17. Intercambiador horizontal.

**Ventajas.**

- Al contrario que la energía solar que depende de las condiciones climatológicas, la energía geotérmica es independiente de estas y por lo tanto funciona haga o no sol.
- Con una solo tipo de instalación podemos tener tanto agua caliente sanitaria como climatización (verano e invierno).
- Produce una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 50% respecto a los sistemas tradicionales.
- Es un sistema silencioso y que no produce combustión por lo que se pueden colocar en sitios peligrosos o lugares que se necesite un cierto silencio. [15]

**Desventajas.**

- Altos costes de instalación.
- Los sistemas geotérmicos no siempre son aplicables. [15]

**Beneficios de las Bombas de Calor Geotérmicas.***Frente a calderas:*

- No presentan emisiones de gases por combustión in situ, no necesitan chimenea ni almacenamiento de combustible.
- Pueden producir frío, calor y agua caliente sanitaria. [15]

*Frente a bombas aire -agua:*

- Las bombas de calor geotérmicas son más eficientes que las de bombas aire-agua.
- El agua tiene más capacidad de transporte del calor que el aire.
- No necesitan unidad exterior. [15]



# 5. Edificio de estudio.

La vivienda es del tipo unifamiliar de uso residencial. Se trata de un edificio entre medianeras, de dos plantas de altura, con estructura en U, de 29.2 m<sup>2</sup> por planta, y altura de 3 metros, distribuida de la siguiente forma:

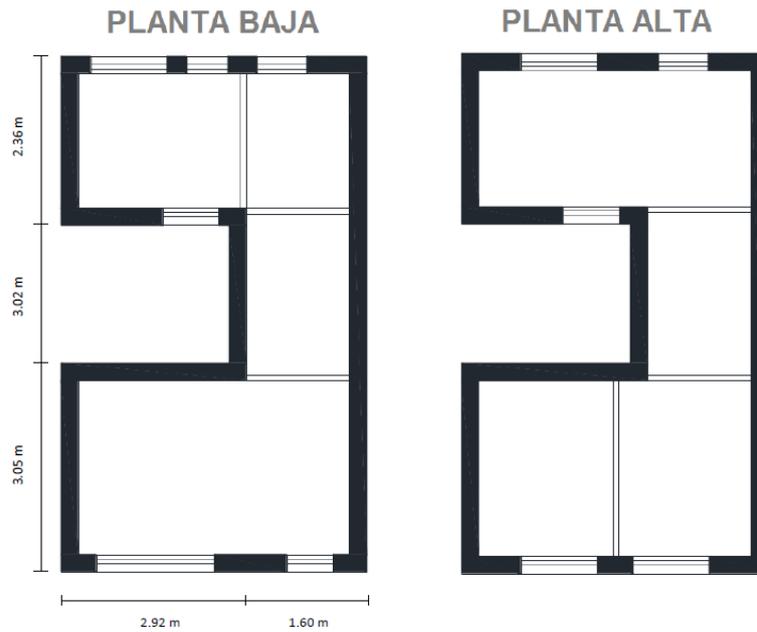


Figura 5-1. Plantas del edificio de estudio.

El edificio se encuentra dentro de una urbanización basada en la adhesión de viviendas en torno a un patio interior según figura 5-2.



Figura 5-2. Urbanización donde se ubica edificio de estudio.

Dicha vivienda tipo, para realizarle estudios posteriores, se ubica en tres zonas climáticas distintas, que

se corresponden con las ciudades españolas de Granada, Madrid y Sevilla. Y así comparar los diversos resultados que puedan obtenerse según la zona climática de ubicación.

La composición del edificio de estudio se detalla a continuación:

Tabla 5.1. Descripción de las soluciones constructivas empleadas.

Cerramiento	Composición
Muro exterior	1 pie de ladrillo y enlucido de yeso
Solera	Cerámicos: Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm. Morteros: mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 de espesor 2 cm. Forjados Unidireccionales: FU entrevigado cerámico canto 250 mm Morteros: Mortero de yeso 1,5 cm.
Cubierta plana	Cerámicos: Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm. Morteros: mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 de espesor 4 cm. Forjados Unidireccionales: FU entrevigado cerámico canto 250 mm Morteros: Mortero de yeso 1,5 cm.
Forjado intermedio	Cerámicos: Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm. Morteros: mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 de espesor 2 cm. Forjados Unidireccionales: FU entrevigado cerámico canto 250 mm Morteros: Mortero de yeso 1,5 cm.
Particiones Verticales Interiores	Mortero de yeso 1,5 cm. Tabicón de ladrillo hueco (9cm) Mortero de yeso 1,5 cm.
Huecos	$U=3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , $g=0.8$ , permeabilidad $50\text{m}^3/\text{hm}^2$

### Geometría del edificio.

Planta en U de 29.2 m<sup>2</sup>, apoyada sobre terreno.

El Área de la fachada principal es de 13,56 metros cuadrados por planta.

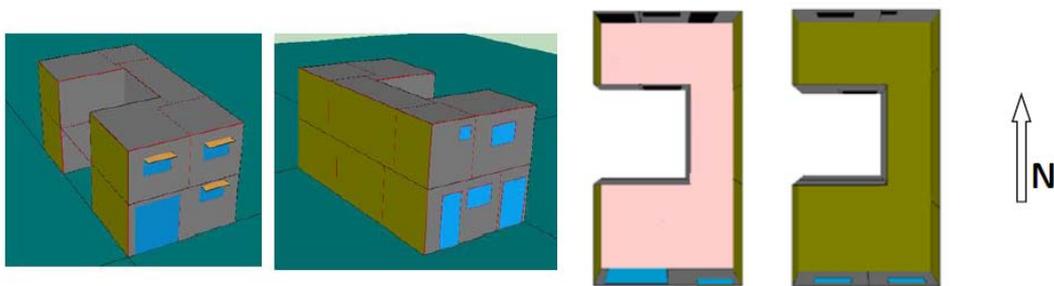


Figura 5-3. Vistas de la vivienda y plantas tipo.

Como se puede observar la orientación del acristalamiento será la mitad norte y la otra mitad sur.

Recibe sombras debidas a obstáculos propios (voladizos en las ventanas) y a obstáculos remotos (otros edificios), como podemos ver en el edificio introducido en HULC:

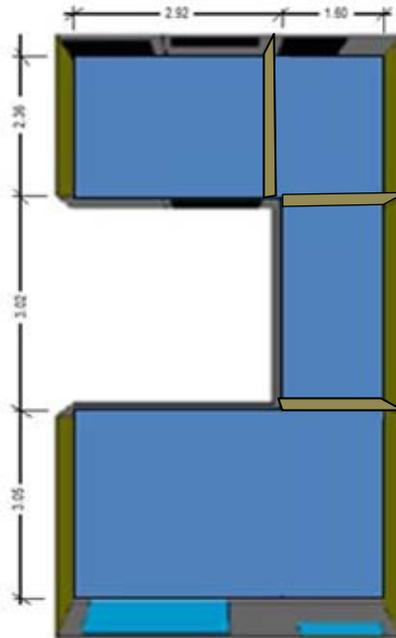


Figura 5-4. Vista acotada de la vivienda y plantas tipo.

Tabla 5.2. Área de cada planta.

Superficie	Área planta (m <sup>2</sup> )
Planta 1 y 2	29.2

Tabla 5.3. Porcentajes de acristalamiento por orientaciones.

Orientación	% acristalado	Dispositivos de sombra
N	33	-
S	33	Voladizo (D=0 m, L=0.7 m)
E	-	-
O	-	-

Con la cartografía catastral obtenemos las sombras remotas y observamos la situación del edificio, que introduciremos en la Herramienta Unificada Lider Calener para realizar el análisis energético.

En la figura 5-5, se observan las distintas vistas espaciales del edificio, de tal manera que puede observarse que la cara este, presentada en color verde, linda con otro edificio, y en el caso de la cara oeste hay parte de ella que también linda con edificio anexo, identificada también por el color verde.

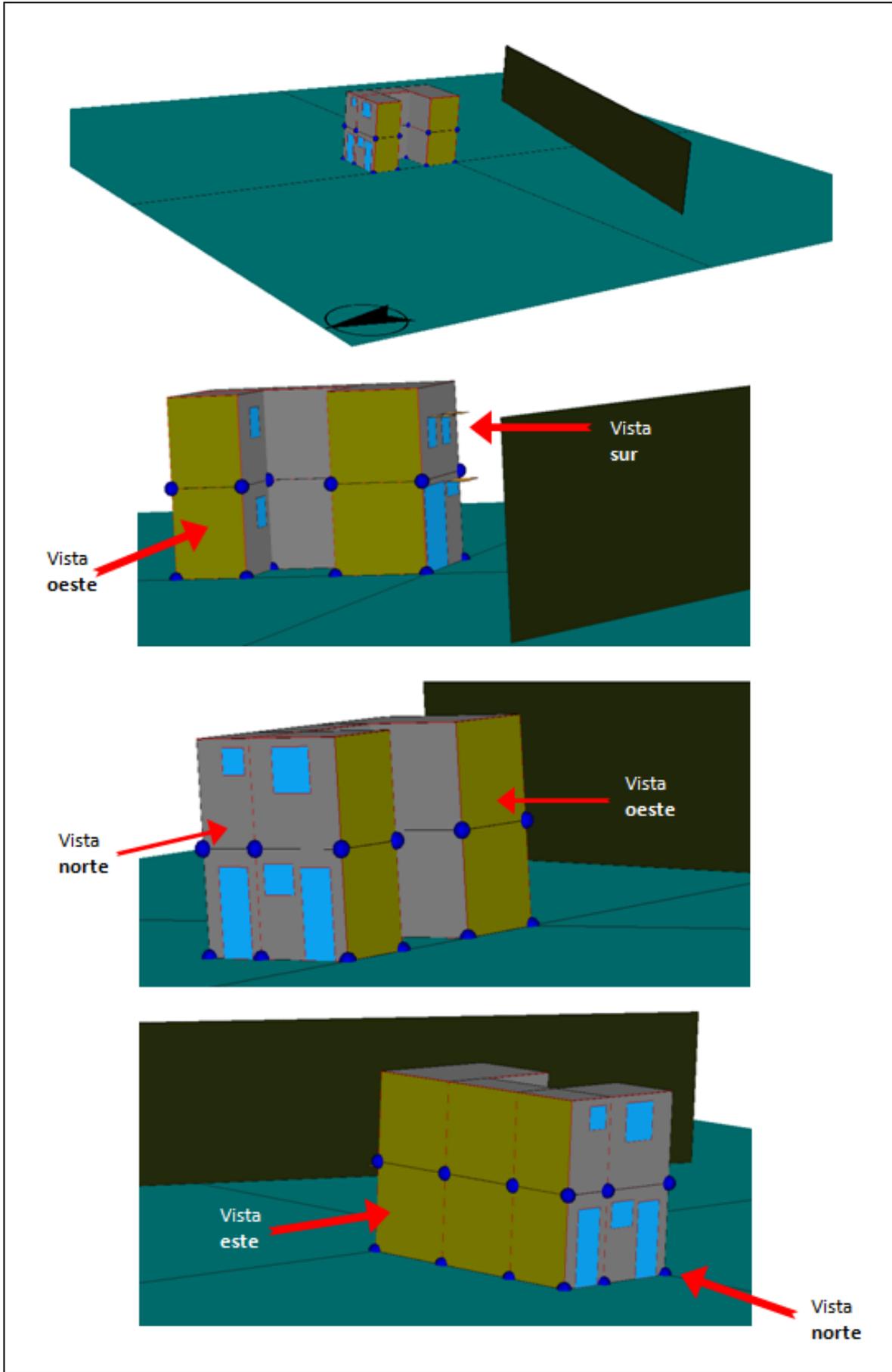


Figura 5-5. Vistas espaciales del edificio.

# 6. Coste de ciclo de vida.

El coste de ciclo de vida (CCV) de un edificio es el coste total del edificio, durante toda su vida, desde que se construye hasta que se demuele. En este documento cuando se haga referencia al CCV, será a la suma del coste de la edificación y los costes de operación.

Dentro de los costes de la edificación se encuentran, los costes de la envolvente y de los equipos de acondicionamiento. Si la vida útil de algún componente fuese menor que la vida útil del edificio, habría que tener en cuenta su replazo.

Para el cálculo del CCV, hay que suponer:

- Vida útil del edificio.
- Tasa de actualización, para el replazo de elementos generales de la envuelta (muro exterior, solera y cubierta), ventanas y protecciones solares.
- Vida útil de equipos de acondicionamiento.

En el CCV, se incluyen los siguientes costes:

- Costes de mejoras en la envolvente del edificio.
- Costes de equipos de climatización.
- Costes de operación.

Dentro de los costes de operación se encuentran los costes de los consumos energéticos de los sistemas de climatización durante toda la vida del edificio.

Con la información obtenida se representa la curva coste frente a consumo, y una vez realizada, se busca el punto óptimo, con el cual se obtiene el menor coste.

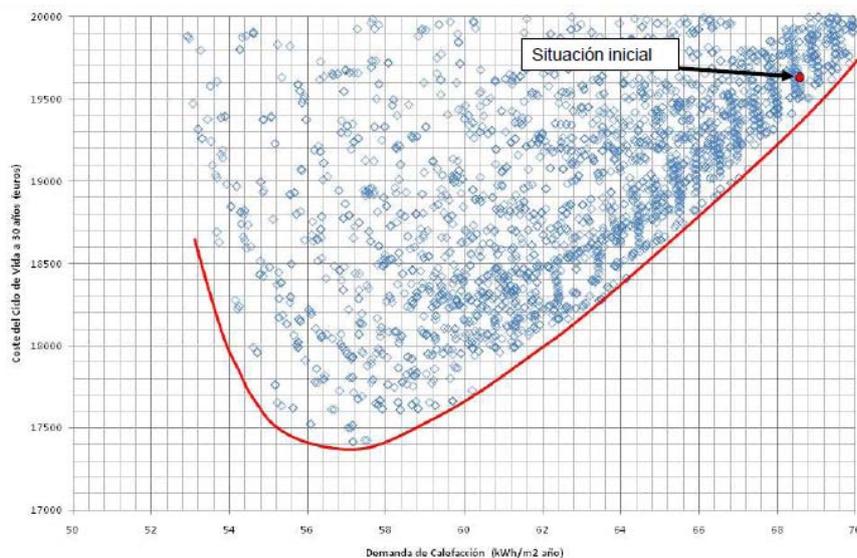


Figura 6-1. CCV, situación inicial.

Como se ha dicho anteriormente, se parte de una situación inicial a la que se le hacen mejoras, tal y

como se puede ver en la figura 6-1, creándose una nube de puntos.

Se procederá a encontrar el nivel de rentabilidad óptimo, que será el que se señala en la figura 6-2, que en dicho ejemplo se ha realizado como alternativa óptima a 30 años vista.

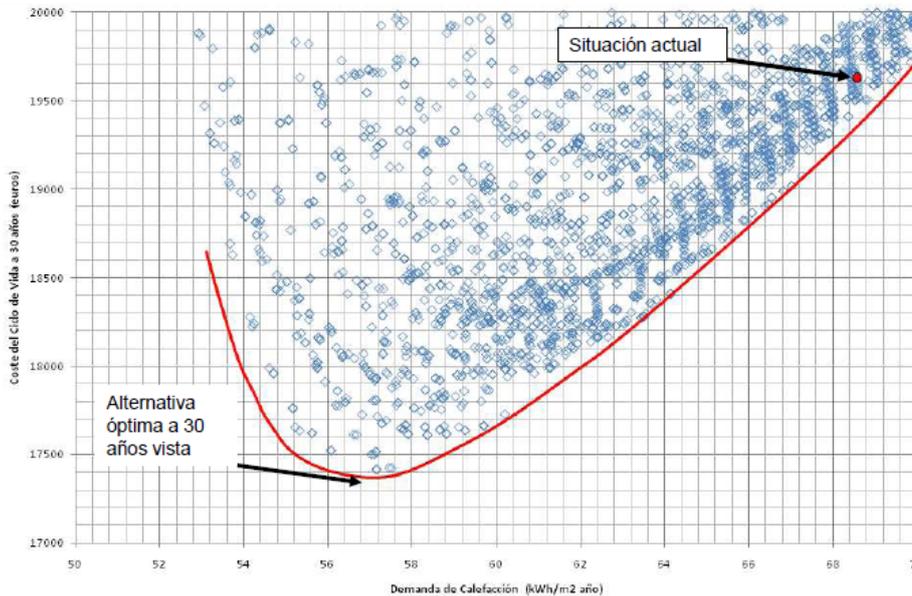


Figura 6-2. CCV, situación óptima.

Posteriormente se construirán otras curvas con otros equipos diferentes comparando ambas curvas y viendo las ventajas y desventajas.

Una vez calculado el CCV para un equipo, se puede proceder a hacer los mismos cálculos pero con otros equipos, comparándose dichas curvas, por lo que se verán distintas posibilidades que se engloban en los casos siguientes:

- Tecnología que no mejora la situación inicial: no reduce la demanda de climatización y aumenta el Coste de Ciclo de Vida.
- Tecnología que mejora la situación inicial pero no el óptimo: disminuye la demanda de climatización pero aumenta el Coste de Ciclo de Vida.
- Tecnología que mejora la situación inicial y el óptimo: disminuye la demanda de climatización y también el Coste de Ciclo de Vida.

## 6.1. Cálculo del coste de ciclo de vida. Suposiciones.

Para realizar los cálculos de CCV, se tienen en cuenta las siguientes suposiciones:

1. Vida útil del edificio de 30 años.
2. Vida útil de los componentes de la envolvente:
  - Elementos generales de la envuelta (muro exterior, solera y cubierta) - 50 años.
  - Ventanas - 15 años.
  - Protecciones solares - 10 años.
3. En el reemplazo de equipos tras su vida útil, la tasa de actualización será del 3%.

4. Vida útil de los equipos de climatización (Según documento [17], identificado en la bibliografía):
  - Calderas - 30 años.
  - Bombas de calor - 15 años.
5. En los costes de los equipos de climatización se incluyen, además del precio del mismo, los costes de operación y mantenimiento.
6. En los costes de operación de los equipos de climatización se incluyen los costes de los consumos energéticos de dichos equipos.
7. El precio de los combustibles, con el que se obtiene el coste de consumo energético de equipos de climatización, es constante con tasa de actualización del 3% (Para tener un cálculo real se debería de tener en cuenta la variación del precio de la energía, la inflación y la tasa de interés. Pero la suposición descrita evita la incertidumbre de las fluctuaciones de su precio),
8. El precio de las modificaciones en elementos de envuelta del edificio, el precio de los combustibles y el precio de los equipos de climatización, así como los costes de operaciones de los mismos, son todos ellos considerados iguales en las tres zonas geográficas españolas de estudio.

## 6.2. Costes de mejoras en la envuelta del edificio.

Las mejoras serán de muro exterior, cubierta y solera, es decir, le incorporaremos a dichos elementos, aislamiento para así disminuir su transmitancia y mejorar el consumo. También se mejorará el acristalamiento para así disminuir el consumo.

El caso inicial es el correspondiente a:

- $U_{\text{ventanas}} = 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_{\text{muros}} = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_{\text{solera}} = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- $U_{\text{cubierta}} = 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Al caso inicial se le harán unas mejoras, cuyo coste se relata en los siguientes apartados. El caso inicial sin embargo se supondrá de coste nulo. Los precios de la envolvente están en unidades de €/m<sup>2</sup>, por lo que para hallar su coste habrá que multiplicarlo por el área de cada uno de los elementos de la envolvente, siendo:

- $A_{\text{VENTANAS}} = 29,40 \text{ m}^2$
- $A_{\text{MUROS}} = 77,94 \text{ m}^2$
- $A_{\text{SOLERA}} = 29,20 \text{ m}^2$
- $A_{\text{CUBIERTA}} = 29,20 \text{ m}^2$

Los valores de U, g, precios, así como otros parámetros necesarios, para los distintos elementos de la envolvente, se han obtenido de los documentos [16] y [17], identificados en la bibliografía.

### 6.2.1. Ventanas.

Se mejoran cambiando su U, con otras ventanas con una U más pequeña, y como consecuencia de ello también se irá cambiando g (Factor solar). Se irán poniendo los distintos casos y así se verá cómo mejora y, por lo tanto, se podrá observar la reducción de las demandas de calefacción y refrigeración.

El precio de dichas ventanas se ha tomado suponiendo una vida útil de aproximadamente 15 años. Por lo que habrá que reponer las ventanas en el año 15. Con la expresión (6-1), se puede calcular el precio de las ventanas a partir del precio inicial  $P_{V,0}$ , en función de la tasa de actualización  $i$ , recogidos en la tabla 6-1.

$$(6-1) \quad P_{\text{VENTANA}} = P_{V,0} + P_{V,0} * (1-i)^{-15}$$

Tabla 6-1. Ventanas. Precios, U, g y EE.

EE	VENTANA	U - ventana	g-ventana	$P_{V,0}$	$P_{\text{VENTANA}}$
500,75 kWh	V1	3,49 W/(m <sup>2</sup> K)	0,76	0 €/m <sup>2</sup>	0 €/m <sup>2</sup>
500,75 kWh	V2	2,73 W/(m <sup>2</sup> K)	0,72	211,66 €/m <sup>2</sup>	375 €/m <sup>2</sup>
615,63 kWh	V3	2,13 W/(m <sup>2</sup> K)	0,69	228,26 €/m <sup>2</sup>	404 €/m <sup>2</sup>
765,85 kWh	V4	1,67 W/(m <sup>2</sup> K)	0,65	265,46 €/m <sup>2</sup>	436 €/m <sup>2</sup>
880,73 kWh	V5	1,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0,62	286,27 €/m <sup>2</sup>	470 €/m <sup>2</sup>

## 6.2.2. Muros (Aislamiento).

Se realizan dos suposiciones:

- La vida útil de los aislamientos será la del edificio.
- La conductividad del aislamiento será siempre de 0,036 W/m\*K.

Se van a poner distintos aislamientos en los muros exteriores debido a dos motivos.

- Cuanto más aislamiento se ponga en el interior del hogar menos metros cuadrados habrá.
- En el interior sería más complicado poner aislamientos ya que habría que reorganizar enchufes.

Al ser en la parte exterior del edificio, no sólo no se perderá volumen sino que será más sencillo, ya que no hay que cambiar nada y la altura del edificio de estudio no es muy alta. A partir de las expresiones (6-2) y (6-3), se calculan los precios del aislamiento de muros, recogidos en la tabla 6-2.

$$(6-2) \quad P_{\text{MUROS}} = 2,7325 * R_{\text{MURO}} + 2,004$$

$$(6-3) \quad R_{\text{MURO}} = \frac{e}{k}$$

Tabla 6-2. Aislamiento de muros. Precios, resistencia, espesor, conductividad, U y EE.

EE	MURO	U - muro	R-resistencia	e-espesor	k-conductividad	$P_{\text{MURO}}$
957,8 kWh	M1	2,30 W/(m <sup>2</sup> K)	0 W/mK	0 m	0,036 W/mK	0 €/m <sup>2</sup>
1.012,2 kWh	M2	0,79 W/(m <sup>2</sup> K)	0,83 W/mK	0,03 m	0,036 W/mK	4,28 €/m <sup>2</sup>
1.030,3 kWh	M3	0,65 W/(m <sup>2</sup> K)	1,11 W/mK	0,04 m	0,036 W/mK	5,04 €/m <sup>2</sup>
1.048,4 kWh	M4	0,55 W/(m <sup>2</sup> K)	1,39 W/mK	0,05 m	0,036 W/mK	5,80 €/m <sup>2</sup>
1.066,6 kWh	M5	0,48 W/(m <sup>2</sup> K)	1,67 W/mK	0,06 m	0,036 W/mK	6,56 €/m <sup>2</sup>
1.084,7 kWh	M6	0,42 W/(m <sup>2</sup> K)	1,94 W/mK	0,07 m	0,036 W/mK	7,32 €/m <sup>2</sup>
1.102,8 kWh	M7	0,38 W/(m <sup>2</sup> K)	2,22 W/mK	0,08 m	0,036 W/mK	8,08 €/m <sup>2</sup>
1.120,9 kWh	M8	0,34 W/(m <sup>2</sup> K)	2,50 W/mK	0,09 m	0,036 W/mK	8,84 €/m <sup>2</sup>
1.139,1 kWh	M9	0,31 W/(m <sup>2</sup> K)	2,78 W/mK	0,10 m	0,036 W/mK	9,59 €/m <sup>2</sup>
1.157,2 kWh	M10	0,29 W/(m <sup>2</sup> K)	3,06 W/mK	0,11 m	0,036 W/mK	10,40 €/m <sup>2</sup>
1.175,3 kWh	M11	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	3,33 W/mK	0,12 m	0,036 W/mK	11,10 €/m <sup>2</sup>
1.193,4 kWh	M12	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)	3,61 W/mK	0,13 m	0,036 W/mK	11,90 €/m <sup>2</sup>

### 6.2.3. Solera (Aislamiento).

Aislamiento del suelo en contacto con el terreno ya que en esta superficie se intercambia energía con el terreno. A continuación se exponen las expresiones para el cálculo de los precios correspondientes al aislamiento de la solera. A partir de las expresiones (6-4) y (6-5), se calculan los precios del aislamiento de la solera, recogidos en la tabla 6-3.

$$(6-4) \quad P_{\text{SOLERA}} = 4,135 \cdot R_{\text{SOLERA}} + 2,38$$

$$(6-5) \quad R_{\text{SOLERA}} = \frac{e}{k}$$

Tabla 6-3. Aislamiento de solera. Precios, resistencia, espesor, conductividad, U y EE.

EE	SOLERA	U - solera	R-resistencia	e-espesor	k-conductividad	P <sub>SOLERA</sub>
1.476,3 kWh	S1	1,90 W/(m <sup>2</sup> K)	0 W/mK	0 m	0,036 W/mK	0 €/m <sup>2</sup>
1.510,3 kWh	S2	0,52 W/(m <sup>2</sup> K)	1,4 W/mK	0,05 m	0,036 W/mK	8,12 €/m <sup>2</sup>
1.517,1 kWh	S3	0,46 W/(m <sup>2</sup> K)	1,7 W/mK	0,06 m	0,036 W/mK	9,27 €/m <sup>2</sup>
1.523,9 kWh	S4	0,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,9 W/mK	0,07 m	0,036 W/mK	10,40 €/m <sup>2</sup>
1.530,7 kWh	S5	0,36 W/(m <sup>2</sup> K)	2,2 W/mK	0,08 m	0,036 W/mK	11,60 €/m <sup>2</sup>
1.537,4 kWh	S6	0,33 W/(m <sup>2</sup> K)	2,5 W/mK	0,09 m	0,036 W/mK	12,70 €/m <sup>2</sup>
1.544,2 kWh	S7	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	2,8 W/mK	0,10 m	0,036 W/mK	13,90 €/m <sup>2</sup>
1.551,0 kWh	S8	0,28 W/(m <sup>2</sup> K)	3,1 W/mK	0,11 m	0,036 W/mK	15,00 €/m <sup>2</sup>
1.557,8 kWh	S9	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	3,3 W/mK	0,12 m	0,036 W/mK	16,20 €/m <sup>2</sup>
1.564,6 kWh	S10	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	3,6 W/mK	0,13 m	0,036 W/mK	17,30 €/m <sup>2</sup>
1.571,4 kWh	S11	0,23 W/(m <sup>2</sup> K)	3,9 W/mK	0,14 m	0,036 W/mK	18,50 €/m <sup>2</sup>
1.578,2 kWh	S12	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	4,2 W/mK	0,15 m	0,036 W/mK	19,60 €/m <sup>2</sup>

### 6.2.4. Cubierta (Aislamiento).

Del mismo modo que en los elementos anteriores, se detallan las posibles mejoras que se considerarán para la cubierta, cuyos precios se calculan a partir de las expresiones (6-6) y (6-7), y se recogen en la tabla 6.4.

$$(6-6) \quad P_{\text{CUBIERTA}} = 2,7325 \cdot R_{\text{CUBIERTA}} + 2,004$$

$$(6-7) \quad R_{\text{CUBIERTA}} = \frac{e}{k}$$

Tabla 6-4. Aislamiento de cubierta. Precios, resistencia, espesor, conductividad, U y EE.

EE	CUBIERTA	U - cubierta	R-resistencia	e-espesor	k-conductividad	P <sub>CUBIERTA</sub>
1.484,5 kWh	C1	1,80 W/(m <sup>2</sup> K)	0 W/mK	0 m	0,036 W/mK	0 €/m <sup>2</sup>
1.518,4 kWh	C2	0,51 W/(m <sup>2</sup> K)	1,4 W/mK	0,05 m	0,036 W/mK	4,31 €/m <sup>2</sup>
1.525,2 kWh	C3	0,45 W/(m <sup>2</sup> K)	1,7 W/mK	0,06 m	0,036 W/mK	4,79 €/m <sup>2</sup>
1532,0 kWh	C4	0,40 W/(m <sup>2</sup> K)	1,9 W/mK	0,07 m	0,036 W/mK	5,26 €/m <sup>2</sup>
1.538,8 kWh	C5	0,36 W/(m <sup>2</sup> K)	2,2 W/mK	0,08 m	0,036 W/mK	5,73 €/m <sup>2</sup>
1.545,6 kWh	C6	0,33 W/(m <sup>2</sup> K)	2,5 W/mK	0,09 m	0,036 W/mK	6,2 €/m <sup>2</sup>
1.552,4 kWh	C7	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)	2,8 W/mK	0,10 m	0,036 W/mK	6,68 €/m <sup>2</sup>
1.559,2 kWh	C8	0,28 W/(m <sup>2</sup> K)	3,1 W/mK	0,11 m	0,036 W/mK	7,15 €/m <sup>2</sup>
1.566,0 kWh	C9	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	3,3 W/mK	0,12 m	0,036 W/mK	7,62 €/m <sup>2</sup>
1.572,8 kWh	C10	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	3,6 W/mK	0,13 m	0,036 W/mK	8,09 €/m <sup>2</sup>
1.579,6 kWh	C11	0,23 W/(m <sup>2</sup> K)	3,9 W/mK	0,14 m	0,036 W/mK	8,57 €/m <sup>2</sup>
1.586,3 kWh	C12	0,21 W/(m <sup>2</sup> K)	4,2 W/mK	0,15 m	0,036 W/mK	9,04 €/m <sup>2</sup>

### 6.2.5. Control solar (Toldos).

Las posibles mejoras a considerar se realizarán suponiendo lonas, por lo que afectará a la g y por lo tanto disminuirá la demanda de refrigeración. Para los edificios de viviendas se considera que reduce al 50% el factor solar de la ventana sobre la que está situada.

El precio de la colocación de protecciones mediante toldos, utilizando como material lonas es de 90 €/m<sup>2</sup>. Para este tipo de medida estas protecciones tendrán una durabilidad media de 10 años.

A partir de la expresión (6-8), se obtiene el precio de los toldos, recogidos en tabla 6-5. Y además se han modificado los valores de g de las ventanas, durante el verano, por el hecho de utilizarse un control solar (toldos)

$$(6-8) \quad P_{\text{toldo}} = 90 \text{ €/m}^2 \cdot A_{\text{vent}} + 90 \text{ €/m}^2 \cdot A_{\text{vent}} \cdot (1+0,03)^{-10} + 90 \text{ €/m}^2 \cdot A_{\text{vent}} \cdot (1+0,03)^{-20} = 6.092,00 \text{ €}$$

Tabla 6-5. Control solar. Precios, g(ventana en verano) y EE.

EE	CONTROL SOLAR	g-vent verano	PTOLDO
16,94 kWh	CS-V1	0,380	6.092 €/m <sup>2</sup>
16,94 kWh	CS-V2	0,360	6.092 €/m <sup>2</sup>
16,94 kWh	CS-V3	0,345	6.092 €/m <sup>2</sup>
16,94 kWh	CS-V4	0,325	6.092 €/m <sup>2</sup>
16,94 kWh	CS-V5	0,310	6.092 €/m <sup>2</sup>

### 6.2.6. Ventilación y puentes térmicos.

Se considerarán constantes en este proyecto.

## 6.3. Cálculo de la energía embebida.

Los edificios de energía casi nula consideran la energía utilizada en climatización, iluminación y suministro de agua caliente sanitaria, no obstante obvian un parámetro importante como lo es la energía embebida. Que es la energía total consumida para la construcción de un edificio. Esto quiere decir que tiene en cuenta la energía que se ha empleado en los procesos de fabricación, transporte de los materiales utilizados para la construcción de dicho edificio. Así como la energía que se ha utilizado por la maquinaria en la ejecución de la obra.

Para proceder al cálculo de las EE, inicialmente se identifican cada uno de los materiales utilizados en la mejoras del envolvente, para ello se utiliza la información recogida en el documento [18], identificado en la bibliografía, en el que la energía viene expresada en unidades de MJ/kg. Por lo que se multiplicará por la densidad del material, el espesor y el área para así dejarlo en unidades de kWh, tal como se recoge en expresión (6-9).

$$EE \left( \frac{MJ}{kg} \right) \cdot \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) \cdot e(m) \cdot A(m^2) \cdot \frac{1000 \text{ KW} \cdot s}{1 \text{ MJ}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \quad (6-9)$$

Dicho esto, se procede a describir en la tabla 6-6, los materiales empleados en los elementos del envolvente y a partir de ellos a explicar el cálculo de las EE de los mismos, cuyos valores ya han sido recogidos en las tablas 6-1, 6-2, 6-3, 6-4 y 6-5.

Tabla 6-6. Descripción de las soluciones constructivas empleadas.

Cerramiento	Composición
Muro exterior	1 pie de ladrillo y enlucido de yeso
Solera	Cerámicos: Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm. Morteros: mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/ enlucido 1000 de espesor 2 cm. Forjados Unidireccionales: FU entrevigado cerámico canto 250 mm Morteros: Mortero de yeso 1,5 cm.
Cubierta plana	Cerámicos: Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm. Morteros: mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/ enlucido 1000 de espesor 4 cm. Forjados Unidireccionales: FU entrevigado cerámico canto 250 mm Morteros: Mortero de yeso 1,5 cm.
Huecos	$U=3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , $g=0.8$ , permeabilidad $50\text{m}^3/\text{hm}^2$

### 6.3.1. EE de las ventanas.

La transmitancia de un hueco es:

$$(6-10) \quad U_H = 0,9 \cdot U_V + 0,1 U_M$$

En el caso base:

$$(6-11) \quad U_V = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$(6-12) \quad U_M = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K de PVC (dos cámaras)}$$

$$(6-13) \quad EE_M = 0,02\text{m} \cdot 1500 \text{ kg/m}^3 \cdot 80 \text{ MJ/kg} = 2400 \text{ MJ/m}^2$$

Con los datos anteriores y a partir de la información de la tabla 3.15.2 del documento [18] de la bibliografía, puede conocerse de que materiales está fabricado cada vidrio para así calcular la energía embebida del vidrio. Como ejemplo se pondrá el caso base y los siguientes casos se harán de la misma manera.

$$(6-14) \quad U_V = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K: es un vidrio aislante 4-6-4}$$

Sabiendo que la energía embebida del vidrio es 15 MJ/kg.

$$(6-15) \quad EE_{V\text{simple}} = 0,004\text{m} \cdot 2500 \text{ kg/m}^3 \cdot 15 \text{ MJ/kg} = 150 \text{ MJ/m}^2$$

$$(6-16) \quad EE_V = 2 \cdot EE_{V\text{simple}} = 300 \text{ MJ/m}^2$$

Por lo que la energía embebida de la ventana completa será en el caso base:

$$(6-17) \quad EE_H = 0,9 \cdot A_V \cdot 300 + 0,1 \cdot A_M \cdot 2400 = 510 \cdot A_H$$

Una vez realizado para todos los casos, se calcula la energía embebida de la ventana completa:

- $U_v = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .  $EE_v = 300 \text{ MJ/m}^2$   $EE_M=2400 \text{ MJ/m}^2$   $EE_H=510 \text{ MJ/m}^2=141.6 \text{ kW/m}^2$  (6-18)

- $U_v = 2,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ .  $EE_v = 300 \text{ MJ/m}^2$   $EE_M=2400 \text{ MJ/m}^2$   $EE_H=510 \text{ MJ/m}^2=141.6 \text{ kW/m}^2$  (6-19)

- $U_v = 2,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ .  $EE_v = 430 \text{ MJ/m}^2$   $EE_M=2400 \text{ MJ/m}^2$   $EE_H=627 \text{ MJ/m}^2=174.2 \text{ kW/m}^2$  (6-20)

- $U_v = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ .  $EE_v = 600 \text{ MJ/m}^2$   $EE_M=2400 \text{ MJ/m}^2$   $EE_H=780 \text{ MJ/m}^2=216.7 \text{ kW/m}^2$  (6-21)

- $U_v = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .  $EE_v = 730 \text{ MJ/m}^2$   $EE_M=2400 \text{ MJ/m}^2$   $EE_H=897 \text{ MJ/m}^2=249.2 \text{ kW/m}^2$  (6-22)

### 6.3.2. EE de los muros.

El cálculo de la energía embebida de los muros, se realiza teniendo en cuenta que los materiales que los componen son 1 pie de ladrillo y enlucido de yeso.

1 pie de ladrillo:

$$(6-23) \quad 2,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2140 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,24 \text{ m} \cdot 77,94 \text{ m}^2 = 100074,96 \text{ MJ}$$

Enlucido de yeso:

$$(6-24) \quad 1,8 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 77,94 \text{ m}^2 = 3367 \text{ MJ}$$

$$(6-25) \quad EEmext = 103441,96 \text{ MJ} = 28733,9 \text{ kWh}$$

### 6.3.3. EE de la solera.

Para el cálculo de la energía embebida de la solera se seguirá como en los otros elementos. A partir de los materiales que está fabricado. Realizándose para ello los siguientes cálculos.

Plaqueta o baldosa cerámica:

$$(6-26) \quad 10 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 11680 \text{ MJ}$$

Morteros:

$$(6-27) \quad 1,34 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1125 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 22,9 \text{ m}^2 = 880.38 \text{ MJ}$$

Forjados Unidireccionales:

$$(6-28) \quad 10 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 146000 \text{ MJ}$$

Morteros:

$$(6-29) \quad 1,8 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,015 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 883 \text{ MJ}$$

$$(6-30) \quad EEsolera = 159443,38 \text{ MJ} = 44289,8 \text{ kWh}$$

### 6.3.4. EE de la cubierta.

Como ha pasado con el resto de los elementos que se van a utilizar en las mejoras del envolvente, se calcula la energía embebida de cada uno de los materiales que componen la cubierta.

Plaqueta o baldosa cerámica:

$$(6-31) \quad 1,34 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,04 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 1760,76 \text{ MJ}$$

Morteros:

$$(6-32) \quad 10 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 146000 \text{ MJ}$$

Forjados Unidireccionales:

$$(6-33) \quad 1,8 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,015 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 883 \text{ MJ}$$

Morteros:

$$(6-34) \quad 10 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 146000 \text{ MJ}$$

$$(6-35) \quad \text{EE}_{\text{cub}} = 160323,76 \text{ MJ} = 44534,4 \text{ kWh}$$

### 6.3.5. EE de los toldos.

Se calcula la energía embebida de los toldos, del mismo modo que el resto de las mejoras.

$$\text{EE}_{\text{TOLDOS}} = 17,7 \text{ MJ/kg} \cdot 1560 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00075 \text{ m} = 20,7 \text{ MJ/m}^2 = 5,75 \text{ kWh/m}^2$$

## 6.4. Combinaciones consideradas con los elementos de la envolvente.

En la tabla 6-7, se definen todas las modificaciones que se van a tener en cuenta en los distintos elementos del envolvente, 5 posibles ventanas, 12 posibilidades en cada uno de los aislamientos considerados de muro exterior, solera y cubierta, además de la inclusión o no de control solar (toldo).

Y con los elementos de la tabla 6-7, se elabora la tabla 6-8, con todas las combinaciones posibles de los elementos considerados. De tal manera que se realizan un total de 17.280 combinaciones posibles.

Tabla 6-7. Descripción de las soluciones constructivas empleadas.

CUBIERTA	MURO	SOLERA	VENTANA	TOLDO
C1	M1	S1	V1	0
C2	M2	S2	V2	1
C3	M3	S3	V3	
C4	M4	S4	V4	
C5	M5	S5	V5	
C6	M6	S6		
C7	M7	S7		
C8	M8	S8		
C9	M9	S9		
C10	M10	S10		
C11	M11	S11		
C12	M12	S12		

Tabla 6-8. Descripción de las combinaciones de las soluciones constructivas empleadas.

Combinaciones	CUBIERTA	MURO	SOLERA	VENTANA	TOLDO
	Comb.-1	C1	M1	S1	V1
Comb.-2	C1	M1	S1	V1	1
Comb.-3	C1	M1	S1	V2	0
Comb.-4	C1	M1	S1	V2	1
Comb.-5	C1	M1	S1	V3	0
Comb.-6	C1	M1	S1	V3	1
Comb.-7	C1	M1	S1	V4	0
Comb.-8	C1	M1	S1	V4	1
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	C12	M12	S12	V1	0
Comb.-17272	C12	M12	S12	V1	1
Comb.-17273	C12	M12	S12	V2	0
Comb.-17274	C12	M12	S12	V2	1
Comb.-17275	C12	M12	S12	V3	0
Comb.-17276	C12	M12	S12	V3	1
Comb.-17277	C12	M12	S12	V4	0
Comb.-17278	C12	M12	S12	V4	1
Comb.-17279	C12	M12	S12	V5	0
Comb.-17280	C12	M12	S12	V5	1

Tabla 6-9. Costes de las mejoras en elementos del envoltente, según combinaciones constructivas empleadas.

Combinaciones	COSTE Ventana	COSTE Cubierta	COSTE Solera	COSTE Muro	COSTE Protección Solar
	(€)				
Comb.-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb.-2	0,00	0,00	0,00	0,00	6.091,89
Comb.-3	11.039,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb.-4	11.039,19	0,00	0,00	0,00	6.091,89
Comb.-5	11.904,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb.-6	11.904,39	0,00	0,00	0,00	6.091,89
Comb.-7	12.838,27	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb.-8	12.838,27	0,00	0,00	0,00	6.091,89
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	0,00	250,17	572,59	925,25	0,00
Comb.-17272	0,00	250,17	572,59	925,25	6.091,89
Comb.-17273	11.039,19	250,17	572,59	925,25	0,00
Comb.-17274	11.039,19	250,17	572,59	925,25	6.091,89
Comb.-17275	11.904,39	250,17	572,59	925,25	0,00
Comb.-17276	11.904,39	250,17	572,59	925,25	6.091,89
Comb.-17277	12.838,27	250,17	572,59	925,25	0,00
Comb.-17278	12.838,27	250,17	572,59	925,25	6.091,89
Comb.-17279	13.844,69	250,17	572,59	925,25	0,00
Comb.-17280	13.844,69	250,17	572,59	925,25	6.091,89

## 6.5. Costes de los equipos de climatización.

En el cálculo de estos costes, se ha tenido en cuenta la norma UNE-EN-15459 [31]. Se considera que los equipos tenidos en cuenta para hacer frente a la demanda de calefacción, también resuelven la demanda de ACS. La demanda de calefacción, se resolverá con equipos tipo caldera (C) y con equipos tipo bomba de calor (BdC), y en cuanto a la demanda de refrigeración se realizará con equipos tipo BdC. Así aparecen tres situaciones (Calefacción con C, calefacción con BdC y refrigeración con BdC), en las que se partirá de un equipo base (caso base) y de dos equipos más, uno con mejor  $\eta$  y otro con peor  $\eta$ ; también se incluirá en el caso de las calderas (C) el utilizar como combustible biomasa; y en el caso de las bombas de calor (BdC), el utilizar BdC con tecnología geotérmica. Información obtenida de los documentos [17] y [18].

Tabla 6-10. Equipos considerados, tipo caldera, para hacer frente a demanda de calefacción.

CALDERAS							
	Tipo	Combustible	$\eta$	$\eta$ medio estacional	Inversión inicial (€)	C&M (€)	COSTE TOTAL (€)
Caso Base	Baja T*	Gasóleo C	0,95	0,95	6.598,90	2.069,50	8.668,40
C1	Condensación	GLP	0,97	1,05	8.119,00	2.705,30	10.824,30
C2	Convencional	Gasóleo C	0,87	0,84	5.620,70	1.762,70	7.383,40
C3	Convencional	Biomasa	0,87	0,83	15.576,50	5.495,50	21.072,00

Tasa actual	3%
-------------	----

Tabla 6-11. Equipos considerados, tipo bomba de calor, para hacer frente tanto a las demandas de calefacción, como a las de refrigeración.

BOMBAS DE CALOR								
	En regimen de calefacción				En regimen de refrigeración			
	COP	COP medio estacional			EER	EER medio estacional		
		A	B, C	D,E		2	3	4
Caso Base	3	1,8	1,85	1,75	2,7	1,5	1,8	2
BdC 1	3,6	2,16	2,23	2,09	3,2	1,7	2,1	2,4
BdC 2	2,4	1,44	1,49	1,39	2,2	1,2	1,45	1,65
BdC 3 Geotérmica	4,5	3,27	3,1	2,75	4,05	5,28	4,91	4,53

	Inversión inicial (€)	C&M (€)	Segunda inversión (€)	C&M (€)	COSTE TOTAL (€)
Caso Base	4.997,90	2.386,60	3.208,00	1.531,90	12.124,30
BdC 1	3.293,90	1.572,90	2.114,20	1.009,60	7.990,60
BdC 2	5.460,30	2.607,40	3.504,80	1.673,60	13.246,00
BdC 3 Geotérmica	6.566,50	3.135,60	4.214,80	2.012,60	15.929,50

Tasa actual	3%
-------------	----

Tabla 6-12. Equipos considerados, tipo bomba de calor, para hacer frente exclusivamente a demanda de refrigeración.

BOMBAS DE CALOR									
Exclusivamente en regimen de refrigeración									
	EER	EER medio estacional			Inversión inicial (€)	C&M (€)	Segunda inversión (€)	C&M (€)	COSTE TOTAL (€)
		2	3	4					
Caso Base	2,7	1,5	1,8	2	4.498,10	2.147,90	2.887,20	1.378,70	10.911,80
BdC-R 1	3,2	1,7	2,1	2,4	2.964,40	1.415,60	1.902,70	908,60	7.191,30
BdC-R 2	2,2	1,2	1,45	1,65	4.914,30	2.346,70	3.154,30	1.506,20	11.921,50
BdC-R 3 Geotérmica	4,05	5,28	4,91	4,53	5.909,90	2.822,10	3.793,30	1.811,40	14.336,70

Tasa actual	3%
-------------	----

## 6.6. Costes de operación.

Los costes de operación se obtienen a partir de las demandas en calefacción y refrigeración del edificio de estudio, para cada una de las combinaciones consideradas en la tabla 6-8, como soluciones constructivas posibles empleadas con los elementos del envolvente.

Dichas demandas se solventan con combinaciones de los equipos de climatización descritos en las tablas 6-10, 6-11 y 6-12. Que teniendo en cuenta las energías consumidas vía combustible o mediante energía fotovoltaica asociada con energía de red, conducirán a los costes de operación.

### 6.6.1. Precios de los combustibles.

En cuanto a los costes energéticos derivados del uso de combustibles, se ha partido de unos precios iniciales, recogidos en el documento [17], y expuestos en la tabla 6-13 y una actualización de precios anuales del 3%, evitándose así las fluctuaciones anuales en los valores de dichos combustibles.

Tabla 6-13. Precios de combustibles.

COMBUSTIBLE	Precio
Gasóleo	0,10 €/kWh
GLP	0,12 €/kWh
Gas Natural	0,07 €/kWh
Electricidad	0,21 €/kWh
Biomasa	0,05 €/kWh

### 6.6.2. Cálculo de la instalación fotovoltaica.

Además de las mejoras en la envuelta y sistemas de climatización, se puede disminuir el coste y el consumo incorporando una instalación fotovoltaica. Ésta suplirá el consumo en combustible y, por tanto, reduce el coste de estos. Cabe añadir que será necesaria una inversión inicial y que tendrá unos costes de mantenimiento.

Para ello se calcula el número de paneles fotovoltaicos que se necesitarán y la energía producida con la cual se procederá a la disminución del consumo de energía.

Se disponen de 29,20 m<sup>2</sup> de cubierta donde pueden instalarse los paneles solares. A continuación, se procede al cálculo del número de paneles para la superficie disponible de cubierta.

### 6.6.2.1. Parámetros característicos del panel fotovoltaico.

El panel fotovoltaico elegido es A250M GSE (Anexo A.6.1.). Del anexo 2.3, del catálogo «Panel de Atersa de 250 W» [20], se obtienen las características de dicho panel, necesarias para el cálculo del número de paneles, según [22].

Características del panel en cuestión:

- $P_{\text{pico}} = 250 \text{ W}_p$
- $V_{\text{mp}} = 31,31 \text{ V}$
- $I_{\text{mp}} = 7,99 \text{ A}$
- $V_{\text{oc}} = 38,03 \text{ V}$
- $I_{\text{cc}} = 8,52 \text{ A}$
- $V_{\text{aislamiento}} = 1000 \text{ V}$
- $A_{\text{panel}} = 1638 \cdot 995 \text{ mm} = 1,62981 \text{ m}^2$
- $dV_{\text{oc}}/dT = -0,32 \text{ \%/}^\circ\text{C}$
- Eficiencia del módulo = 15,34%

Se asume que:

$$(6-36) \quad dV_{\text{mp}}/dT = dV_{\text{oc}}/dT = -0,32 \text{ \%/}^\circ\text{C} = 32 \text{ \% de } 38,03 \text{ V} = -0,121696 \text{ V/}^\circ\text{C}$$

Para el cálculo del número máximo de paneles, se halla primero la potencia pico por metro cuadrado.

$$(6-37) \quad P_{\text{pico}}/\text{m}^2 = 250 \text{ W}_p / 1,629 \text{ m}^2 = 153,392 \text{ W}_p/\text{m}^2$$

Una vez obtenida se multiplica por su área de captación.

$$(6-38) \quad P_{\text{pico}} = P_{\text{pico}}/\text{m}^2 \cdot A_{\text{captacion}} \text{ m}^2 = 153,392 \text{ W}_p/\text{m}^2 \cdot 29,2 \text{ m}^2 = 4479,04 \text{ W}_p$$

En realidad produciríamos 90% de  $P_{\text{pico}} = 4.031 \text{ kW}$

El número máximo de paneles que se podrán poner en total vendrá calculado al dividir el área de captación entre el área del panel.

$$(6-39) \quad N_{\text{tp}} = P_{\text{cs}}/P_{\text{picopanel}} = A_{\text{captacion}}/A_{\text{panel}} = 29,2/1,62981 = 17,91 \text{ paneles}$$

Por lo que el número máximo de paneles que se podrán colocar será de 17.

### 6.6.2.2. Parámetros característicos del inversor.

Del catálogo Inversor Sunny Boy 5000TL [21] (Anexo A.6.2.) se obtienen los siguientes parámetros:

- $V_{\text{sprmpmax}} = 500 \text{ V}$
- $V_{\text{sprmpmin}} = 175 \text{ V}$

- $V_{\text{maxadmis}} = 750 \text{ V}$
- $I_{\text{maxadmis}} = 15 \text{ A}$

### 6.6.2.3. Parámetros característicos del emplazamiento.

La vivienda de estudio se considera ubicada en Granada por lo que:

- $T_{a,\text{max}} = 45^\circ\text{C}$
- $T_{a,\text{min}} = -5^\circ\text{C}$

### 6.6.2.4. Dimensionado: NPS, NHP.

Para el cálculo final del dimensionado de los paneles se procede a su cálculo con las siguientes ecuaciones:

$$(6-40) \quad N_{\text{tp}} = N_{\text{ps}} \cdot N_{\text{hp}}$$

$$(6-41) \quad N_{\text{ps}} \cdot V_{\text{mp,max}} < V_{\text{smpmax,inv}}$$

$$(6-42) \quad N_{\text{ps}} \cdot V_{\text{mp,min}} > V_{\text{smpmin,inv}}$$

$$(6-43) \quad N_{\text{ps}} \cdot V_{\text{ca,max}} < V_{\text{maxadmis,inv}}, V_{\text{aislam,panel}}$$

$$(6-44) \quad N_{\text{hp}} \cdot I_{\text{ccp}} < I_{\text{maxadmis,inv}}$$

Primero se calcula  $V_{\text{mpmax}}$ ,  $V_{\text{mpmin}}$  y  $V_{\text{camax}}$ :

$$(6-45) \quad \text{Siendo } \text{TONC} = 46^\circ\text{C}, I(T_{a,\text{min}}) = 0 \text{ W/m}^2, I(T_{a,\text{max}}) = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$(6-46) \quad T_{\text{p,min}} = T_{a,\text{min}} + ((\text{TONC} - 20)/800) \cdot I = -5^\circ\text{C}$$

$$(6-47) \quad T_{\text{p,max}} = T_{a,\text{max}} + ((\text{TONC} - 20)/800) \cdot I = 77.5^\circ\text{C}$$

$$(6-48) \quad V_{\text{mp,max}} = V_{\text{max,pot}} + dV/dT \cdot \Delta T_{\text{min}} = 34,9608 \text{ V}$$

$$(6-49) \quad V_{\text{mp,min}} = V_{\text{min,pot}} + dV/dT \cdot \Delta T_{\text{max}} = 24,9209 \text{ V}$$

$$(6-50) \quad V_{\text{ca,max}} = V_{\text{oc}} + dV/dT \cdot \Delta T_{\text{min}} = 41,6808 \text{ V}$$

Ecuaciones finales:

$$(6-51) \quad N_{\text{tp}} = N_{\text{ps}} \cdot N_{\text{hp}} = 17$$

$$(6-52) \quad N_{\text{ps}} \cdot V_{\text{mp,max}} < V_{\text{smpmax,inv}} \quad N_{\text{ps}} < 500/34,9608 = 14,3$$

$$(6-53) \quad N_{\text{ps}} \cdot V_{\text{mp,min}} > V_{\text{smpmin,inv}} \quad N_{\text{ps}} > 175/24,9209 = 7,02$$

$$(6-54) \quad N_{\text{ps}} \cdot V_{\text{ca,max}} < V_{\text{maxadmis,inv}}, V_{\text{aislam,panel}} \quad N_{\text{ps}} < 500/41,6808 = 11,9$$

$$(6-55) \quad N_{\text{hp}} \cdot I_{\text{ccp}} < I_{\text{maxadmis,inv}} \quad N_{\text{hp}} < 1,76$$

Posibilidades según las restricciones obtenidas para Nps y Nph:

- $N_{\text{ph}} = 1$
- $N_{\text{ps}} = 11$  Con lo que al final se obtienen 11 paneles.

### 6.6.2.5. Costes asociados.

La inversión inicial es de:

$$(6-56) \quad \text{Inversión} = 1500 \text{ €/kWp} \cdot 4,47904 \text{ kWp} = 6718,56 \text{ €}$$

Coste de operación y mantenimiento aproximado:

$$(6-57) \quad C_{O\&M} = 0,005 \cdot I = 33,5928 \text{ €/año}$$

$$(6-58) \quad C_{O\&M} = 33,5928 \cdot ((1 + 0,03)^{30} - 1) / (0,03 \cdot (1 + 0,03)^{30}) = 658,4337 \text{ €}$$

$$(6-59) \quad \text{Costes totales en los 30 años} = I + O\&M_{30\text{años}} = 7376,9937 \text{ €}$$

### 6.6.2.6. Energía producida.

Para el cálculo de la energía producida, se realizará mes a mes.

PR, es el "Performance Ratio" de la instalación o rendimiento energético de la instalación, definido como la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, donde se tienen en cuenta las siguientes pérdidas originadas:

- Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos.
- Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas.
- Pérdidas debidas a la acumulación de suciedad en los módulos.
- Pérdidas por sombras.
- Pérdidas por degradación de los módulos.
- Pérdidas eléctricas.

Suponiendo un PR de 0,8.

Para el cálculo de la energía producida mensualmente se procede del siguiente modo:

$$(6-60) \quad E_{p,\text{mes}} = \text{días}_{\text{mes}} \cdot P_{\text{pico}} \cdot A_{\text{panelestotal}} \cdot \text{PR} \cdot \eta_{\text{panel}} \cdot h_{\text{SP}} \quad [23]$$

### 6.6.2.7. Ahorro.

Una vez obtenida la energía producida mensualmente se procede a restar esa energía a las mensuales que se van a obtener de las demandas de calefacción y de las demandas de refrigeración.

## 6.6.3. Consumos de climatización.

Necesidades de energía básica que tendrá un equipo de climatización, tanto en demanda de calefacción como de refrigeración, para mantener el interior de la vivienda entre 20 y 25 °C (confort de temperatura que se busca). En los cálculos de los consumos de climatización se ha tenido en cuenta la norma UNE-EN-15603 [30].

### 6.6.3.1. Demanda de calefacción.

La demanda de calefacción se calcula del siguiente modo: Demanda = Pérdidas – Ganancias netas

Siendo las pérdidas

$$(6-61) \quad Q = \left( \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^m \phi_j \cdot l_j + \rho_a c_{pa} nV \right) GD \cdot 24$$

El primer término de las pérdidas hace referencia a la transmitancia de las ventanas, la cubierta, el muro exterior y la solera. Si se mejora la transmitancia de dichos elementos se obtienen unas pérdidas menores y, por consiguiente, una demanda de calefacción menor.

También se tiene en cuenta los puentes térmicos del edificio que han sido obtenidos a través de la herramienta de pasadas y se va a considerar fijo. Por lo que este factor no influirá a la hora de querer disminuir la demanda ya que siempre será constante. Se realizará lo mismo con el término de ventilación, calculado del mismo modo en las herramientas de pasadas.

Por último, los grados días al variar mensualmente, originan que la demanda de calefacción se calcule mensualmente. Siendo los meses de calefacción: Enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.

Las ganancias serán:

$$(6-62) \quad Q = \left( \sum_{i=1}^{no} I_i \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i} + \bar{\phi}_a \cdot t \right) \cdot \eta$$

El primer término hace referencia a la radiación y el área solar sur equivalente (ASSE). Cambiando la radiación mensualmente. El ASSE también dependerá del mes en el que nos encontremos. El ASSE se define como  $A \cdot g$ . También depende de donde esté ubicada la ventana, de ahí que cambie mensualmente, ya que dependiendo de su orientación se multiplicará por un factor, para suponer que todas las ventanas están orientadas al sur.

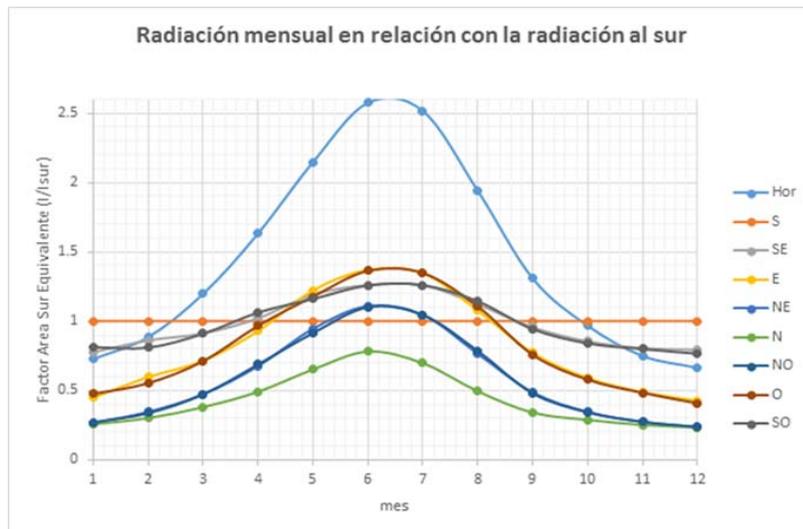


Figura 6-3. Radiación mensual en relación con la radiación sur.

Las fuentes internas se calculan mes a mes en las herramientas pasadas, por lo que variarán de un mes a otro. Por último se calcula el factor de utilización. Siendo  $\zeta$  del edificio de estudio igual a 8. Se procede a hacer la relación de ganancias entre pérdidas. Obtenidos ambos términos se va a la figura 6-4 y se obtiene el factor de utilización " $\eta$ ".

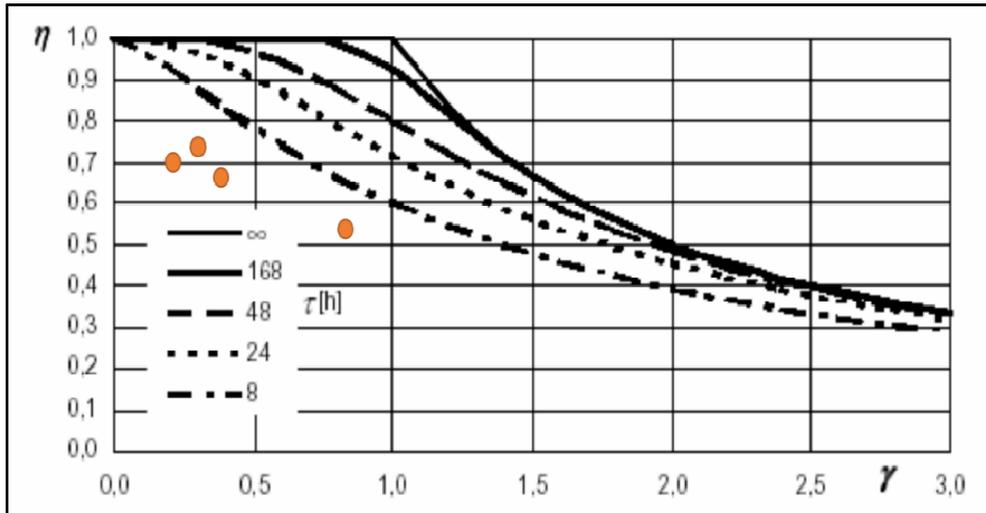


Figura 6-4. Obtención del factor de utilización.

Una vez calculadas las demandas de calefacción mes a mes, la demanda de calefacción anual será la suma de las demandas de calefacción mensuales de los meses considerados anteriormente.

### 6.6.3.2. Demanda de refrigeración.

La demanda de refrigeración se calcula cuando en el interior de la vivienda la temperatura es superior a 25°C.

La demanda de refrigeración se calcula del siguiente modo:

$$(6-63) \quad Q = \left( \sum_{i=1}^{no} I_i \sum_{j=1}^{ne_i} A_{s,j,i} + \bar{\phi}_a \cdot t \right)$$

Los términos que conforman la expresión anterior, ya se han explicado con anterioridad en el apartado anterior. Procediéndose del mismo modo, que en la expresión del apartado anterior, pero referidos a los meses de refrigeración, que se consideran que son junio, julio, agosto y septiembre.

### 6.6.3.3. Demanda de ACS.

$$(6-64) \quad D_{ACS} = \frac{\text{Consumo agua vivienda (l/día)} \cdot (1-CS) \cdot (T_{\text{utilización}} - T_{\text{agua-red}}) \cdot d_M \cdot 4,18}{3600}$$

### 6.6.3.4. Consumo dependiendo del tipo de sistema.

La expresión del consumo energético es:

$$(6-65) \quad C = \frac{\text{Demanda energética}}{\text{Rendimiento medio del sistema}}$$

### 6.6.3.5. Cálculo de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración

A partir de las ecuaciones (6-61), (6-62), (6-63), se calculan las demandas de calefacción y las

demandas de refrigeración para cada una de las 17.280 combinaciones. Las demandas de ACS se calculan a partir de la ecuación (6-64), que permanecen constantes para cada una de las citadas combinaciones.

Las tablas resumidas de los cálculos efectuados se recogen en anexo A.1.

#### 6.6.4. Cálculo del coste de ciclo de vida.

El paso a seguir, es suponer diferentes casos teniendo en cuenta los equipos de climatización considerados en el apartado 6.5, para hacer frente a las demandas de climatización.

Tabla 6-14. Combinaciones realizadas de equipos de climatización.

		Refrigeración			
		BdC base	BdC 1	BdC 2	BdC 3 Geotérmica
Calefacción	C Base	comb. base			
	C 1			comb. 1	
	C 2			comb. 2	
	C 3 Biomasa			comb. 3	
	BdC Base				
	BdC 1		comb. 4		
	BdC 2			comb. 5	
	BdC 3 Geotérmica				comb. 6

Además de las siete combinaciones anteriores, también se han asociado las combinaciones 4 y 5 con instalación fotovoltaica

Se tendrán en cuenta nueve casos elegidos debido a su interés para poder comparar y explicar las diferentes opciones. Esos serán:

- **Caso base**  
Con caldera para calefacción y bomba de calor para refrigeración.
- **BdC1 (fotovoltaica)**  
Tanto para calefacción como para refrigeración. Utiliza energía fotovoltaica.
- **BdC2 (fotovoltaica)**  
Tanto para calefacción como para refrigeración. Utiliza energía fotovoltaica.
- **BdC1**  
Tanto para calefacción como para refrigeración.
- **BdC2**  
Tanto para calefacción como para refrigeración.
- **BdC-Geotérmica**  
Tanto para calefacción como para refrigeración.
- **C1 – BdC2 (refrigeración)**  
Con caldera para calefacción y bomba de calor exclusivamente para refrigeración.

- **C2 – BdC2 (refrigeración)**

Con caldera para calefacción y bomba de calor exclusivamente para refrigeración.

- **C3 – BdC2 (refrigeración)**

Con caldera para calefacción y bomba de calor exclusivamente para refrigeración.

**A los nueve casos supuestos, se les calcula el Coste de Ciclo de Vida y el consumo de energía anual, sin tener en cuenta la energía embebida y teniéndola en cuenta, para cada una de las 17280 combinaciones de elementos de la envolvente definidas anteriormente. Y a su vez dichos cálculos serán realizados para las tres zonas climáticas comentadas en el capítulo «5- Edificio de estudio». En las ciudades de Granada, Madrid y Sevilla.**

En el anexo A-2, se presentan pequeños extractos de las tablas de costes de ciclo de vida y consumos de energía, para las tres ciudades de estudio.

Posteriormente se representan en gráficas los costes totales del ciclo de vida frente al consumo anual, sin tener en cuenta la EE, y teniéndola en cuenta, recogiendo dicha información en el anexo A.3.



# 7. Analisis de los resultados.

Para analizar los resultados obtenidos sobre el Coste de Ciclo de Vida, se va a comenzar por comparar las diferentes gráficas obtenidas para una misma ubicación del edificio de estudio, que será en la ciudad de Granada. Y tras dicho análisis, se comentará si el mismo coincide con los resultados obtenidos para las otras dos ciudades de estudio, Madrid y Sevilla.

Así se compararán los niveles de rentabilidad óptimos, que serán considerados como alternativa óptima a 30 años vista.

En la gráfica de la figura 7-1 se comparan los Costes del Ciclo de Vida del edificio de estudio, ubicándolo en Granada, frente al consumo anual, para los nueve casos supuestos de combinaciones de equipos de climatización.



Figura 7-1. Comparación de costes de ciclo de vida frente a consumo anual para los nueve casos supuestos de combinaciones de equipos de climatización.

A priori, las combinaciones BdC-1 (fotovoltaica) (Tanto para calefacción como para refrigeración), y BdC (geotérmica) (Tanto para calefacción como para refrigeración), son las situaciones con menor Coste de Ciclo de Vida y menor consumo de energía, si bien, en ambos casos las inversiones iniciales serían algo más elevadas que en otros casos.

A continuación se van a realizar varias comparaciones, entre sistemas de climatización similares y también entre diferentes tipos de sistemas (combinaciones de equipos). Eso sí, en una primera parte, todas las comparaciones se efectuarán teniendo en cuenta que la ubicación del edificio es en Granada.

### Comparación 1 – Entre calderas, asociadas a una misma bomba de calor para refrigeración.



Figura 7-2. Comparación de calderas con BdC2 (en refrigeración)

Se parte de que todas las calderas están asociadas con una misma bomba de calor en régimen de refrigeración, observándose que la caldera C2 presenta ligeros menores costes que las otras dos, y además, también ligeros menores consumos de energía. Si bien, los consumos de las calderas C1 y C2 son muy parecidos y algo menores que los de la caldera C3, esta utiliza biomasa como combustible cuyo precio actual por kWh es la mitad de los combustibles utilizados por las otras dos, en cambio la caldera C3 presenta inversión inicial y costes C&M del orden del doble que los de las otras dos, muy relevante por el desembolso económico que supone.

### Comparación 2 – Entre calderas con BdC2 (en refg.) y bomba de calor BdC2 (calef/refrg)

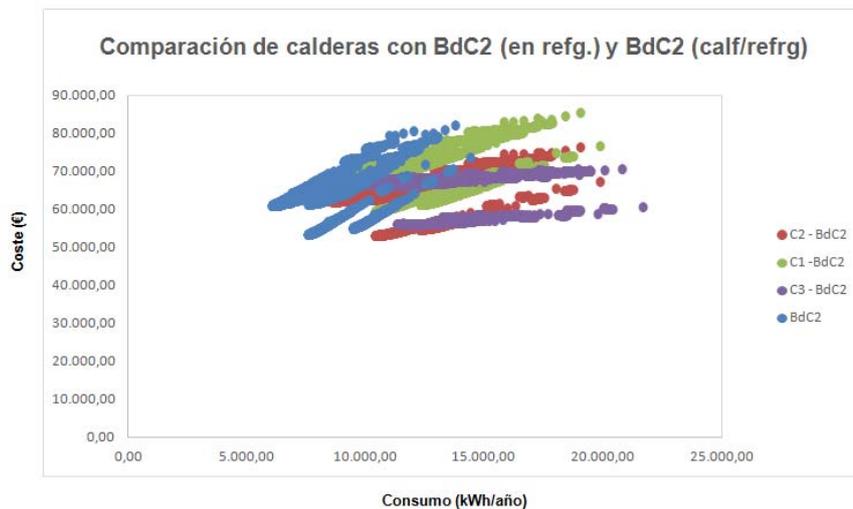


Figura 7-3. Comparación de calderas con BdC2 (en refrigeración) y BdC2 (calef/refrg).

Se compara la utilización de calderas asociadas con bombas de calor para refrigeración, con la misma bomba de calor pero utilizada tanto en calefacción como en refrigeración. Y tal como se observa, el sistema de climatización que utiliza la BdC2-(calef/refrg) presenta mejor rendimiento que el mejor de los sistemas mixtos, que es el compuesto por caldera C2 con bomba de calor BdC2. Pues aunque en ambos casos los costes son similares, el sistema mixto tiene un consumo mayor, y aunque parte del mismo es compensado por el uso de gasóleo, con precio del orden del 50% del precio de la energía eléctrica, en cambio, hay que hacer frente a inversiones superiores del orden de casi un 50% más que en el caso de BdC2-(calef/refrg).

A partir de esta comparación-2, se obvian los sistemas mixtos formados por caldera para calefacción y bomba de calor para refrigeración. Y se prosigue con las comparaciones entre sistemas que exclusivamente utilizando bomba de calor, tanto para calefacción como para refrigeración.

### Comparación 3 – Entre bombas de calor Bdc1 y Bdc2 (ambas con fotovoltaica) (utilizadas en calefacción y refrigeración).

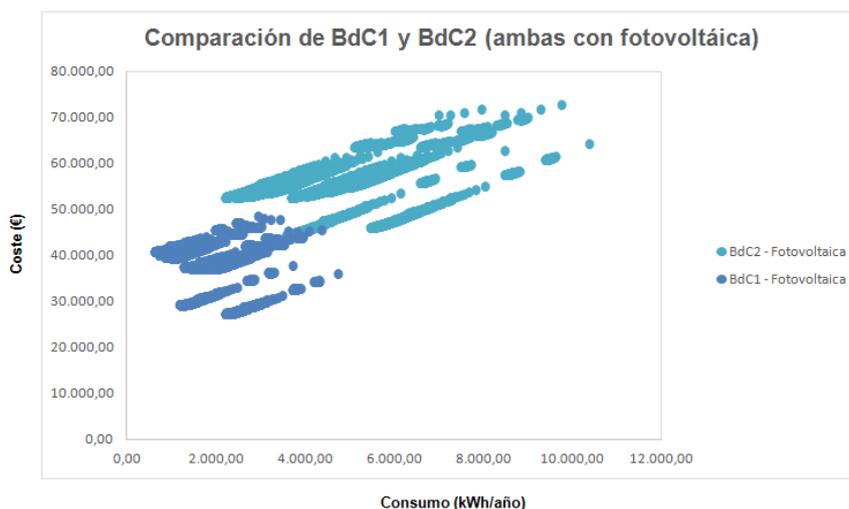


Figura 7-4. Comparación de Bdc1 y Bdc2 (ambas con fotovoltaica).

En esta comparación, hay poca discusión posible, ya que la bomba de calor Bdc1 (fotovoltaica) además de presentar costes bastantes mejores, que los de la Bdc2 (fotovoltaica), también presenta consumos muy inferiores, y además los costes de inversión y C&M, también son menores.

### Comparación 4 – Entre bombas de calor (utilizadas en calefacción y refrigeración), excluyendo la utilización de energía fotovoltaica.

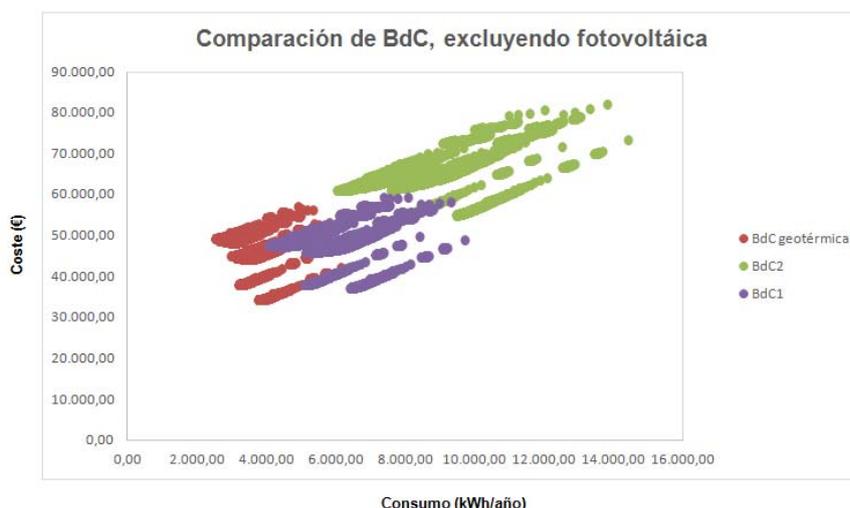


Figura 7-5. Comparación de Bdc, excluyendo fotovoltaica.

La bomba de calor Bdc1 presenta costes y consumos energéticos bastante menores que los de la Bdc2, siendo notablemente más rentable que la Bdc2, por lo que el nivel de rentabilidad de la bomba de calor Bdc1 es bastante mayor que el de la Bdc2.

Por otro lado, al comparar Bdc1 con Bdc3(geotérmica), esta última presenta costes ligeramente

menores, pero consumos bastantes menores que la primera, la salvedad es que debe hacerse frente a costes de inversiones (tanto iniciales como de segunda inversión) y C&M del orden del doble, con respecto a BdC1.

### Comparación 5 – Entre bombas de calor BdC1(fotv) con BdC1 y con BdC(geot).

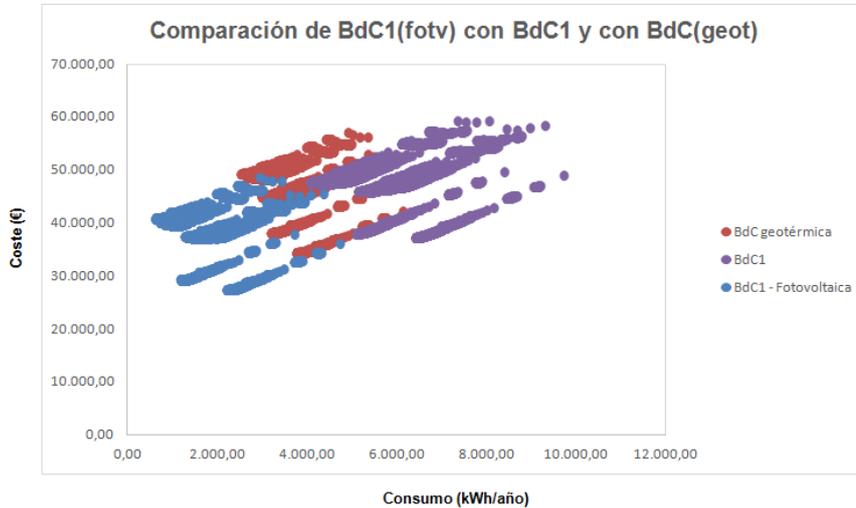


Figura 7-6. Comparación de BdC1 (fotovoltaica) con BdC1 y con BdC (geotérmica).

Esta comparación es parecida a la anterior, comparación-3, a la que se le ha eliminado la BdC2 y se le ha añadido la BdC1 (fotov). El razonamiento para esta comparación es similar al realizado en la comparación-3, hay una notable diferencia en rentabilidad de la BdC1 con apoyo de energía fotovoltaica, con respecto a las otras dos.

### Comparación 6 – Entre todas las bombas de calor.

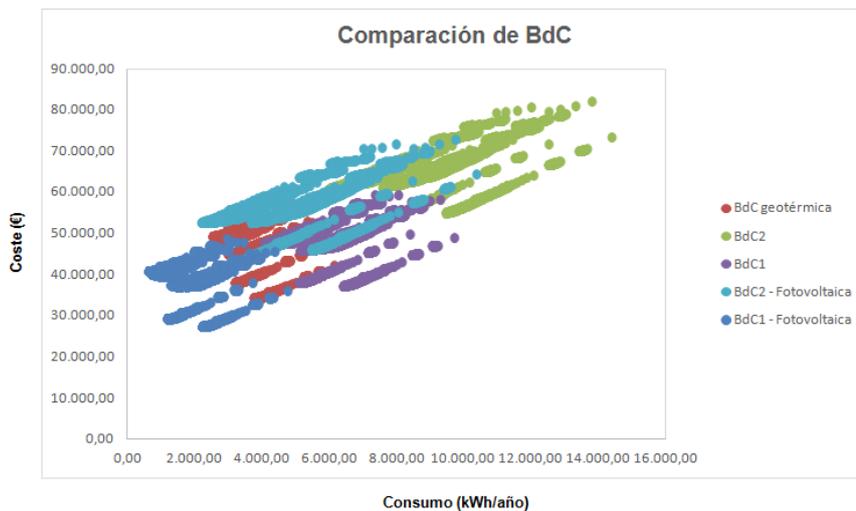


Figura 7-7. Comparación de BdC.

En esta comparación-6, donde ya se han reunido todas las bombas de calor, y tras compararse entre similares y entre sistemas de consumo de energía alternativos, en las comparaciones 3, 4 y 5. Puede evidenciarse que la BdC1 (fotov) es la de mejor rentabilidad, con menor coste y consumo de energía.

Se puede concluir, que si incorporamos una instalación fotovoltaica a la vivienda, se observa que se disminuye el coste y el consumo con respecto a las bombas de calor que no incorporan dicha instalación. Además, dependiendo del rendimiento de la bomba de calor cuando se le introduzca la

instalación fotovoltaica, tendrá un menor coste y consumo que el de una bomba de calor geotérmica. No obstante, la única salvedad es que la inversión inicial siempre será algo mayor que en los demás casos comparados, pero también hay que tener en cuenta que los ahorros en los costes de operación van a ser visibles inmediatamente por la utilización de energía fotovoltaica.

Por tanto en el caso de ubicación del edificio de estudio en Granada, el mejor caso en cuanto a coste es el de la Bdc1 – Fotovoltaica:

Con una inversión inicial de:

- Bdc1 : 3.293,90 €
- Paneles solares térmicos: 1.140,00 €
- Instalación fotovoltaica: 6.718,56 €

Y con unos costes anuales de:

- Costes y mantenimiento Bdc1: 4%. 131,56 €
- Costes y mantenimiento instalación fotovoltaica: 33,59 €
- Combustible: 267,25 €

Cuyos costes de mejoras:

- Coste de las mejoras (óptimo): 1.339,70 €

Al tener una duración media de la bomba de calor de 15 años, se deberá volver a realizar una nueva inversión pasados dichos años.

Tabla 7-1. Comparación entre caso base y caso óptimo.

	$U_{\text{MUROEXT}}$ W/(m <sup>2</sup> K)	$U_{\text{SOLERA}}$ W/(m <sup>2</sup> K)	$U_{\text{CUBIERTA}}$ W/(m <sup>2</sup> K)	$U_{\text{VENTANA}}$ W/(m <sup>2</sup> K)	Toldo	<b>COSTE</b> €	<b>CONSUMO</b> kWh/año
<b>Caso base</b>	2,3	1,9	1,8	3,5	NO	43.181,77	4755,99
<b>Caso óptimo</b>	0,29	0,36	0,3	3,5	NO	27.262,63	2298,37

En dicho óptimo, es decir, el de menor coste, se produce un ahorro del 50% en el consumo anual con respecto al caso base.

Todo el análisis realizado para la ubicación en Granada, es ampliable a las otras dos ubicaciones estudiadas de Madrid y Sevilla, tal como puede observarse en las comparaciones presentadas en los anexos A-4 y A-5. Así las diferencias en los gráficos del anexo A-4, comparando las ubicaciones de Granada y Madrid, son casi inexistentes ya que tanto los grados-día (GD), como la radiación y la energía producida en la instalación fotovoltaica son parecidos. Las diferencias en los gráficos del anexo A-5, comparando las ubicaciones de Granada y Sevilla, en cambio difieren algo más, fundamentalmente en las gráficas en las que se incorporan la instalación fotovoltaica, fundamentalmente por la correspondiente diferencia entre los mayores valores de radiación de Sevilla con respecto a Granada, unido al hecho de que los valores de GD para granada son mayores que los de Sevilla.

En cuanto a la EE, tal como se observa en el anexo A-3, es mayor el porcentaje que representa, cuanto menor sea el consumo y mayores sean los cambios en la envolvente. Además, es más pronunciado en sistemas con instalaciones fotovoltaicas ya que el consumo que éstas satisfacen no se ve reflejado en las gráficas, y aunque parezca que consumen menos, en realidad consumen lo mismo, aunque parte es facilitada por la instalación fotovoltaica, de ahí que aumente más el porcentaje de la energía embebida en estos casos. Cabe recalcar que se han tenido en cuenta las energías embebidas del sistema fotovoltaico y de la bomba de calor geotérmica.

Al comparar el resultado que se ha obtenido en este proyecto, con el estudio (aplicación de la metodología de coste óptimo en los países de la UE - caso de estudio en Alemania) [32] ; puede observarse que en dicho caso de estudio, con clima donde pesa más la demanda en calefacción, las calderas presentan menores costes con respecto a las bombas de calor, ya sea utilizando biomasa o gasóleo, además de por el elevado precio de la electricidad con respecto a los otros combustibles, también debe ser por el hecho de no utilizarse equipos para hacer frente a demanda de refrigeración alguna. En cambio en los casos estudiados en este proyecto las medias mensuales de las demandas de calefacción y refrigeración son semejantes, con lo cual es tan importante hacer frente a temperaturas exteriores mayores como menores, con respecto a la temperatura de confort establecida. Y en estos casos la combinación de calderas con otros equipos de refrigeración elevan los costes con respecto a utilizar un único equipo de bomba de calor, tanto para calefacción como para refrigeración.

# Conclusiones.

---

Se puede reducir el consumo y, por tanto, disminuir el Coste de Ciclo de Vida, mediante:

- Reducción de la demanda, mejorando la envolvente del edificio.
- Aumentando el rendimiento de los sistemas de calefacción.
- Utilizando energías renovables.
- Disminuyendo el coste de los elementos de la envolvente, disminuyendo su energía embebida.

El 80% del total de la energía consumida proviene de los combustibles fósiles. Los edificios representan el 40% del consumo de energía final, por lo que es de suma importancia intentar disminuir dicha cifra, para ello es muy importante defender las ventajas que tiene la incorporación de equipos de climatización, que tengan en cuenta las energías renovables, como pueden ser las bombas de calor geotérmicas, que aprovechan el calor interno de la Tierra. Y además, defender que se consigue disminuir el consumo de energía eléctrica de red, añadiendo al sistema de climatización una instalación fotovoltaica.

Y por supuesto, también es muy importante defender, que paralelamente al hecho de disminuir la dependencia de la energía procedente de los combustibles fósiles, se disminuye el consumo y, por tanto, los costes de operación.

Por último recalcar la importancia que representa la energía embebida en los edificios, por lo que habrá que ir disminuyendo la energía embebida de los elementos constructivos del mismo, lo que contribuirá a una disminución en el consumo de la energía total.

Las diferencias entre los lugares de ubicación del edificio de estudio: Granada, Madrid y Sevilla, para los que varía los GD y la radiación; desde el punto de vista de la comparación de CCV para los distintos sistemas, según la zona climática, son prácticamente despreciables. Si bien, para el caso de los sistemas asociados a la instalación fotovoltaica, variará para cada una de las ciudades de una manera más marcada, principalmente para el caso de Sevilla.



# Bibliografía.

---

- [1] Ramón Pichs Madruga. Tendencias energéticas mundiales: Implicaciones sociales y ambientales
- [2] Antonio Turiel. Balance energético integral: un método eficaz para la gestión de riesgos económicos y financieros en declive energético, AMT, 2016
- [3] Asociación de empresas de energías renovables, <http://www.appa.es/>
- [4] [www.energiasrenovablesinfo.com/solar/energia-solar-instalada-2](http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/energia-solar-instalada-2)
- [5] La energía geotérmica de la península ibérica puede generar cinco veces la capacidad eléctrica actual, Agencia Sinc, 2014
- [6] Pepa Mosquera. Todo el potencial de la geotermia en España, Energías renovables, 2016
- [7] <https://www.certicalia.com/blog-certificado-energetico/la-escala-calificacion-energetica-para-edificios-de-nueva-construccion>
- [8] Albert Cuchí, Peter Sweatman. Estrategia para la rehabilitación, GTR, 2013
- [9] Isidoro Lillo Bravo. Resumen del RD 900/2015, apuntes 4º GIE universidad de Sevilla, 2015/16
- [10] [www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/renovables](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/renovables)
- [11] Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda, ingemecánica, tutorial N°192
- [12] Guía práctica de una instalación de energía solar térmica, Terra ecología práctica, 2007
- [13] Isabel Sala. Las energías renovables en edificación, ventajas y viabilidad en eólica, solar y biomasa, Construction21 España, 2013
- [14] Paula Serrano Yuste. La paradoja de la energía minieólica, certificados energéticos, 2014
- [15] [http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Bombas\\_calor\\_geotermica.PDF](http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Bombas_calor_geotermica.PDF)
- [16] Coste de ciclo de vida y periodo de recuperación del capital. Grupo Termotecnia (AICIA), apuntes 4º GIE universidad de Sevilla, 2015/16
- [17] Determinación de los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética, Entregable 1, Grupo Termotecnia (AICIA), IET<sub>cc</sub> (CSIC), 2013
- [18] Geoff Hammond & Craig Jones. Inventory of carbon&energy (ICE), Version 1.6A, Sustainable energy research team (SERT), Dep. of mechanical engineering, University of Bath, UK, 2008
- [19] IET<sub>cc</sub> (CSIC), con la colaboración de CEPCO y AICIA, Catálogo de elementos constructivos del CTE, CTE, 2010

- [20] <http://www.atersa.com> - Módulo solar fotovoltaico A-250M GSE
- [21] <http://www.SMA-Iberica.com> - Catálogo Inversor Sunny Boy 5000TL
- [22] Isidoro Lillo Bravo. Teoría y problemas de Instalaciones fotovoltaicas, apuntes 4º GIE universidad de Sevilla, 2015/16
- [23] Juan Manuel Sánchez Avila, Jesús Riesco Martín, Carlos Jiménez Alonso, Mª Carmen Sánchez De Cos Escuin, José Montero Cadalso y María López Bartolomé. Atlas de radiación solar en España utilizando datos del SAF de clima de EUMETSAT, AEMET
- [24] Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, 2002
- [25] Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)
- [26] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, donde se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE)
- [27] CTE, Documento Básico HE, ahorro de energía, versión publicada en el BOE 12/09/2013
- [28] Real Decreto 1027/2007, de 31 de julio, donde se aprueba el Reglamento de las Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE)
- [29] Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo
- [30] UNE-EN-15603. Eficiencia energética de los edificios. Consumo global de energía y definición de las evaluaciones energéticas, 2008
- [31] UNE-EN-15459. Eficiencia energética de los edificios. Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios, 2008
- [32] Andreas Enseling y Tobias Loga. Implementing the cost-optimal methodology in EU countries -Case study Germany-, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Institute for Housing and Environment
- [33] Comisión Europea, Directrices que acompañan al Reglamento Delegado (UE) nº244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012, que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos, 2012

## A.1. Energías demandadas en calefacción, refrigeración y ACS.

### A.1.1. Caso A - Ubicación en Granada.

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y RERIGERACIÓN (kWh/mes)												
Combinaciones	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Comb.-1	2.458,37	1.981,90	1.863,77	1.515,81	1.045,07	1.115,86	1.275,24	1.675,33	2.029,07	850,38	1.697,97	2.315,13
Comb.-2	2.458,37	1.981,90	1.863,77	1.515,81	1.045,07	631,11	713,44	913,55	1.087,75	850,38	1.697,97	2.315,13
Comb.-3	2.346,65	1.891,84	1.779,05	1.446,81	997,42	1.064,83	1.216,10	1.595,14	1.929,99	811,59	1.620,76	2.209,81
Comb.-4	2.346,65	1.891,84	1.779,05	1.446,81	997,42	605,60	683,88	873,46	1.038,21	811,59	1.620,76	2.209,81
Comb.-5	2.258,04	1.820,43	1.711,90	1.392,14	959,71	1.026,56	1.171,75	1.535,00	1.855,67	780,95	1.559,58	2.126,29
Comb.-6	2.258,04	1.820,43	1.711,90	1.392,14	959,71	586,46	661,70	843,39	1.001,05	780,95	1.559,58	2.126,29
Comb.-7	2.194,54	1.769,10	1.663,29	1.352,45	931,84	975,53	1.112,61	1.454,81	1.756,59	757,63	1.515,17	2.066,39
Comb.-8	2.194,54	1.769,10	1.663,29	1.352,45	931,84	560,95	632,13	803,30	951,51	757,63	1.515,17	2.066,39
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.123,39	913,99	867,82	707,30	494,11	1.115,86	1.275,24	1.675,33	2.029,07	407,65	792,95	1.057,72
Comb.-17272	1.123,39	913,99	867,82	707,30	494,11	631,11	713,44	913,55	1.087,75	407,65	792,95	1.057,72
Comb.-17273	1.014,82	826,22	784,86	639,73	447,08	1.064,83	1.216,10	1.595,14	1.929,99	368,90	717,23	955,46
Comb.-17274	1.014,82	826,22	784,86	639,73	447,08	605,60	683,88	873,46	1.038,21	368,90	717,23	955,46
Comb.-17275	929,30	757,05	719,45	586,45	409,96	1.026,56	1.171,75	1.535,00	1.855,67	338,31	657,51	874,92
Comb.-17276	929,30	757,05	719,45	586,45	409,96	586,46	661,70	843,39	1.001,05	338,31	657,51	874,92
Comb.-17277	864,44	704,36	669,47	545,73	381,53	975,53	1.112,61	1.454,81	1.756,59	314,86	611,86	813,84
Comb.-17278	864,44	704,36	669,47	545,73	381,53	560,95	632,13	803,30	951,51	314,86	611,86	813,84
Comb.-17279	812,24	661,97	629,27	512,96	358,66	937,27	1.068,26	1.394,67	1.682,27	295,99	575,13	764,68
Comb.-17280	812,24	661,97	629,27	512,96	358,66	541,82	609,96	773,23	914,35	295,99	575,13	764,68

Meses en los que se demanda calefacción

Meses en los que se demanda refrigeración

DEMANDA DE ACS (kWh/mes)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
126,38	114,15	126,38	122,30	126,38	122,30	126,38	126,38	122,30	126,38	122,30	126,38	

## A.1.2. Caso B - Ubicación en Madrid.

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN (kWh/mes)												
Combinaciones	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Comb.-1	1.697,97	2.566,19	2.412,93	1.877,86	1.240,15	1.115,86	1.275,24	1.675,33	2.029,07	1.244,80	2.370,12	3.137,56
Comb.-2	1.697,97	2.566,19	2.412,93	1.877,86	1.240,15	631,11	713,44	913,55	1.087,75	1.244,80	2.370,12	3.137,56
Comb.-3	1.620,76	2.449,61	2.303,31	1.792,43	1.183,62	1.064,83	1.216,10	1.595,14	1.929,99	1.188,10	2.262,44	2.994,82
Comb.-4	1.620,76	2.449,61	2.303,31	1.792,43	1.183,62	605,60	683,88	873,46	1.038,21	1.188,10	2.262,44	2.994,82
Comb.-5	1.559,58	2.357,15	2.216,38	1.724,69	1.138,85	1.026,56	1.171,75	1.535,00	1.855,67	1.143,26	2.177,04	2.881,63
Comb.-6	1.559,58	2.357,15	2.216,38	1.724,69	1.138,85	586,46	661,70	843,39	1.001,05	1.143,26	2.177,04	2.881,63
Comb.-7	1.515,17	2.290,94	2.154,03	1.675,95	1.106,12	975,53	1.112,61	1.454,81	1.756,59	1.109,77	2.115,82	2.800,27
Comb.-8	1.515,17	2.290,94	2.154,03	1.675,95	1.106,12	560,95	632,13	803,30	951,51	1.109,77	2.115,82	2.800,27
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.456,35	1.168,61	1.107,64	865,79	581,51	1.115,86	1.275,24	1.675,33	2.029,07	592,52	1.086,74	1.418,80
Comb.-17272	1.456,35	1.168,61	1.107,64	865,79	581,51	631,11	713,44	913,55	1.087,75	592,52	1.086,74	1.418,80
Comb.-17273	1.314,05	1.055,32	1.000,96	782,62	526,05	1.064,83	1.216,10	1.595,14	1.929,99	536,18	981,99	1.279,92
Comb.-17274	1.314,05	1.055,32	1.000,96	782,62	526,05	605,60	683,88	873,46	1.038,21	536,18	981,99	1.279,92
Comb.-17275	1.202,00	966,10	916,91	717,09	482,30	1.026,56	1.171,75	1.535,00	1.855,67	491,70	899,47	1.170,56
Comb.-17276	1.202,00	966,10	916,91	717,09	482,30	586,46	661,70	843,39	1.001,05	491,70	899,47	1.170,56
Comb.-17277	1.117,65	898,58	853,03	667,18	448,82	975,53	1.112,61	1.454,81	1.756,59	457,61	836,77	1.088,32
Comb.-17278	1.117,65	898,58	853,03	667,18	448,82	560,95	632,13	803,30	951,51	457,61	836,77	1.088,32
Comb.-17279	1.049,70	844,21	801,61	627,01	421,90	937,27	1.068,26	1.394,67	1.682,27	430,19	786,31	1.022,06
Comb.-17280	1.049,70	844,21	801,61	627,01	421,90	541,82	609,96	773,23	914,35	430,19	786,31	1.022,06

Meses en los que se demanda calefacción

Meses en los que se demanda refrigeración

DEMANDA DE ACS (kWh/mes)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
127,46	115,13	127,46	123,35	127,46	123,35	127,46	127,46	123,35	127,46	123,35	127,46	

### A.1.3. Caso C - Ubicación en Sevilla.

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla												
DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y RERIGERACIÓN (kWh/mes)												
Combinaciones	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Comb.-1	2.370,12	949,67	880,00	600,17	348,81	1.166,41	1.342,08	1.781,13	2.141,50	213,00	579,08	985,77
Comb.-2	2.370,12	949,67	880,00	600,17	348,81	656,39	746,87	966,46	1.143,96	213,00	579,08	985,77
Comb.-3	2.262,44	906,39	839,86	572,79	332,89	1.112,72	1.279,43	1.695,38	2.036,49	203,28	552,65	940,84
Comb.-4	2.262,44	906,39	839,86	572,79	332,89	629,55	715,54	923,58	1.091,46	203,28	552,65	940,84
Comb.-5	2.177,04	872,17	808,16	551,16	320,33	1.072,46	1.232,44	1.631,06	1.957,74	195,61	531,79	905,30
Comb.-6	2.177,04	872,17	808,16	551,16	320,33	609,41	692,04	891,42	1.052,09	195,61	531,79	905,30
Comb.-7	2.115,82	846,48	784,12	534,65	310,69	1.018,77	1.169,78	1.545,31	1.852,74	189,72	515,82	878,71
Comb.-8	2.115,82	846,48	784,12	534,65	310,69	582,57	660,72	848,54	999,58	189,72	515,82	878,71
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	566,27	453,09	421,33	287,91	167,47	1.166,41	1.342,08	1.781,13	2.141,50	102,27	277,95	469,48
Comb.-17272	566,27	453,09	421,33	287,91	167,47	656,39	746,87	966,46	1.143,96	102,27	277,95	469,48
Comb.-17273	512,39	410,01	381,28	260,54	151,55	1.112,72	1.279,43	1.695,38	2.036,49	92,55	251,53	424,84
Comb.-17274	512,39	410,01	381,28	260,54	151,55	629,55	715,54	923,58	1.091,46	92,55	251,53	424,84
Comb.-17275	469,87	376,01	349,66	238,94	138,98	1.072,46	1.232,44	1.631,06	1.957,74	84,87	230,67	389,60
Comb.-17276	469,87	376,01	349,66	238,94	138,98	609,41	692,04	891,42	1.052,09	84,87	230,67	389,60
Comb.-17277	437,29	349,94	325,42	222,37	129,35	1.018,77	1.169,78	1.545,31	1.852,74	78,99	214,68	362,59
Comb.-17278	437,29	349,94	325,42	222,37	129,35	582,57	660,72	848,54	999,58	78,99	214,68	362,59
Comb.-17279	411,09	328,97	305,93	209,05	121,60	978,51	1.122,79	1.480,99	1.773,99	74,26	201,82	340,86
Comb.-17280	411,09	328,97	305,93	209,05	121,60	562,44	637,22	816,39	960,21	74,26	201,82	340,86

Meses en los que se demanda calefacción

Meses en los que se demanda refrigeración

DEMANDAS DE ACS (kWh)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
126,38	114,15	126,38	122,30	126,38	122,30	126,38	126,38	122,30	126,38	122,30	126,38	

## A.2. Costes de ciclo de vida y consumos de energía.

### A.2.1. Caso A - Ubicación en Granada.

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

Combinaciones	CASO BASE					
	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
	(€)					
Comb.-1	0,00	20.720,21	2.245,41	64.731,30	19.403,67	24.323,77
Comb.-2	6.091,89	20.720,21	1.926,15	64.565,50	17.876,09	22.813,14
Comb.-3	11.039,19	20.720,21	2.148,70	73.874,93	18.585,54	23.505,64
Comb.-4	17.131,08	20.720,21	1.846,24	74.038,48	17.138,36	22.075,41
Comb.-5	11.904,39	20.720,21	2.073,49	73.265,89	17.944,01	23.093,86
Comb.-6	17.996,29	20.720,21	1.783,63	73.676,46	16.557,13	21.723,93
Comb.-7	12.838,27	20.720,21	2.003,64	72.830,70	17.405,69	22.855,99
Comb.-8	18.930,16	20.720,21	1.730,59	73.570,63	16.099,21	21.566,46
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	20.720,21	1.501,32	51.894,66	11.652,65	17.005,33
Comb.-17272	7.839,90	20.720,21	1.182,05	51.728,87	10.125,07	15.494,70
Comb.-17273	12.787,20	20.720,21	1.406,00	61.065,67	10.849,07	16.201,75
Comb.-17274	18.879,09	20.720,21	1.103,54	61.229,23	9.401,90	14.771,52
Comb.-17275	13.652,40	20.720,21	1.332,16	60.483,47	10.221,80	15.804,24
Comb.-17276	19.744,29	20.720,21	1.042,30	60.894,04	8.834,93	14.434,31
Comb.-17277	14.586,28	20.720,21	1.261,48	60.032,01	9.674,84	15.557,72
Comb.-17278	20.678,17	20.720,21	988,42	60.771,93	8.368,36	14.268,19
Comb.-17279	15.592,70	20.720,21	1.206,44	59.959,73	9.243,51	15.356,15
Comb.-17280	21.684,59	20.720,21	945,99	60.946,67	7.997,34	14.126,92

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

Combinaciones	C1-BdC2					
	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
	(€)					
Comb.-1	0,00	23.885,81	2.682,60	76.465,95	19.890,81	24.810,92
Comb.-2	6.091,89	23.885,81	2.286,27	74.789,68	17.994,52	22.931,56
Comb.-3	11.039,19	23.885,81	2.566,85	85.236,33	19.047,43	23.967,53
Comb.-4	17.131,08	23.885,81	2.191,38	83.968,91	17.250,94	22.187,98
Comb.-5	11.904,39	23.885,81	2.476,89	84.338,26	18.387,53	23.537,38
Comb.-6	17.996,29	23.885,81	2.117,06	83.377,47	16.665,89	21.832,69
Comb.-7	12.838,27	23.885,81	2.392,65	83.621,03	17.818,18	23.268,48
Comb.-8	18.930,16	23.885,81	2.053,68	83.069,09	16.196,35	21.663,60
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	23.885,81	1.809,61	61.103,00	12.299,61	17.652,29
Comb.-17272	7.839,90	23.885,81	1.413,29	59.426,72	10.403,31	15.772,94
Comb.-17273	12.787,20	23.885,81	1.695,50	69.905,51	11.470,48	16.823,16
Comb.-17274	18.879,09	23.885,81	1.320,03	68.638,09	9.673,99	15.043,61
Comb.-17275	13.652,40	23.885,81	1.607,14	69.038,92	10.824,54	16.406,98
Comb.-17276	19.744,29	23.885,81	1.247,32	68.078,13	9.102,91	14.702,28
Comb.-17277	14.586,28	23.885,81	1.521,93	68.302,59	10.246,73	16.129,61
Comb.-17278	20.678,17	23.885,81	1.182,97	67.750,66	8.624,89	14.524,72
Comb.-17279	15.592,70	23.885,81	1.455,64	68.009,79	9.792,70	15.905,34
Comb.-17280	21.684,59	23.885,81	1.132,33	67.764,50	8.245,72	14.375,30

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

C2-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	20.444,89	2.384,55	67.183,05	19.890,81	24.810,92
Comb.-2	6.091,89	20.444,89	1.988,22	65.506,77	17.994,52	22.931,56
Comb.-3	11.039,19	20.444,89	2.281,03	76.193,18	19.047,43	23.967,53
Comb.-4	17.131,08	20.444,89	1.905,56	74.925,76	17.250,94	22.187,98
Comb.-5	11.904,39	20.444,89	2.200,76	75.485,11	18.387,53	23.537,38
Comb.-6	17.996,29	20.444,89	1.840,94	74.524,32	16.665,89	21.832,69
Comb.-7	12.838,27	20.444,89	2.123,54	74.905,57	17.818,18	23.268,48
Comb.-8	18.930,16	20.444,89	1.784,58	74.353,63	16.196,35	21.663,60
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	20.444,89	1.655,79	54.647,12	12.299,61	17.652,29
Comb.-17272	7.839,90	20.444,89	1.259,46	52.970,85	10.403,31	15.772,94
Comb.-17273	12.787,20	20.444,89	1.553,64	63.684,08	11.470,48	16.823,16
Comb.-17274	18.879,09	20.444,89	1.178,17	62.416,65	9.673,99	15.043,61
Comb.-17275	13.652,40	20.444,89	1.474,71	63.002,28	10.824,54	16.406,98
Comb.-17276	19.744,29	20.444,89	1.114,89	62.041,50	9.102,91	14.702,28
Comb.-17277	14.586,28	20.444,89	1.396,68	62.406,81	10.246,73	16.129,61
Comb.-17278	20.678,17	20.444,89	1.057,72	61.854,87	8.624,89	14.524,72
Comb.-17279	15.592,70	20.444,89	1.336,18	62.227,33	9.792,70	15.905,34
Comb.-17280	21.684,59	20.444,89	1.012,86	61.982,04	8.245,72	14.375,30

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

C3-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	34.133,51	1.348,36	60.561,97	21.693,92	26.614,02
Comb.-2	6.091,89	34.133,51	952,03	58.885,69	19.797,62	24.734,67
Comb.-3	11.039,19	34.133,51	1.287,36	70.405,58	20.776,54	25.696,64
Comb.-4	17.131,08	34.133,51	911,90	69.138,16	18.980,04	23.917,09
Comb.-5	11.904,39	34.133,51	1.240,80	70.358,05	20.057,99	25.207,85
Comb.-6	17.996,29	34.133,51	880,97	69.397,26	18.336,36	23.503,16
Comb.-7	12.838,27	34.133,51	1.188,00	70.257,20	19.446,15	24.896,45
Comb.-8	18.930,16	34.133,51	849,04	69.705,27	17.824,31	23.291,56
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	34.133,51	1.121,03	57.854,23	13.230,17	18.582,85
Comb.-17272	7.839,90	34.133,51	724,71	56.177,96	11.333,87	16.703,49
Comb.-17273	12.787,20	34.133,51	1.060,46	67.706,22	12.328,67	17.681,35
Comb.-17274	18.879,09	34.133,51	684,99	66.438,79	10.532,18	15.901,80
Comb.-17275	13.652,40	34.133,51	1.014,31	67.666,88	11.625,70	17.208,14
Comb.-17276	19.744,29	34.133,51	654,49	66.706,09	9.904,06	15.503,44
Comb.-17277	14.586,28	34.133,51	961,27	67.561,06	11.004,41	16.887,30
Comb.-17278	20.678,17	34.133,51	622,30	67.009,13	9.382,58	15.282,41
Comb.-17279	15.592,70	34.133,51	920,87	67.775,58	10.515,41	16.628,05
Comb.-17280	21.684,59	34.133,51	597,55	67.530,29	8.968,43	15.098,01

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

BdC-1						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	9.130,60	2.032,76	48.973,58	9.726,12	14.646,22
Comb.-2	6.091,89	9.130,60	1.759,11	49.701,74	8.416,77	13.353,82
Comb.-3	11.039,19	9.130,60	1.945,43	58.301,03	9.308,27	14.228,37
Comb.-4	17.131,08	9.130,60	1.686,18	59.311,49	8.067,83	13.004,88
Comb.-5	11.904,39	9.130,60	1.877,44	57.833,68	8.982,97	14.132,83
Comb.-6	17.996,29	9.130,60	1.628,99	59.055,87	7.794,22	12.961,02
Comb.-7	12.838,27	9.130,60	1.815,02	57.544,13	8.684,32	14.134,63
Comb.-8	18.930,16	9.130,60	1.580,98	59.048,61	7.564,48	13.031,73
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	9.130,60	1.342,64	37.194,96	6.424,12	11.776,80
Comb.-17272	7.839,90	9.130,60	1.068,99	37.923,12	5.114,77	10.484,39
Comb.-17273	12.787,20	9.130,60	1.256,60	46.547,81	6.012,46	11.365,14
Comb.-17274	18.879,09	9.130,60	997,35	47.558,27	4.772,03	10.141,65
Comb.-17275	13.652,40	9.130,60	1.189,89	46.105,34	5.693,25	11.275,68
Comb.-17276	19.744,29	9.130,60	941,44	47.327,53	4.504,50	10.103,87
Comb.-17277	14.586,28	9.130,60	1.126,70	45.800,69	5.390,91	11.273,79
Comb.-17278	20.678,17	9.130,60	892,65	47.305,18	4.271,07	10.170,90
Comb.-17279	15.592,70	9.130,60	1.077,43	45.841,40	5.155,17	11.267,81
Comb.-17280	21.684,59	9.130,60	854,19	47.557,62	4.087,01	10.216,60

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

BdC-2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	14.386,03	3.012,97	73.441,67	14.416,15	19.336,25
Comb.-2	6.091,89	14.386,03	2.616,65	71.765,39	12.519,85	17.456,90
Comb.-3	11.039,19	14.386,03	2.883,66	81.946,30	13.797,43	18.717,53
Comb.-4	17.131,08	14.386,03	2.508,20	80.678,88	12.000,94	16.937,99
Comb.-5	11.904,39	14.386,03	2.782,96	80.837,63	13.315,59	18.465,44
Comb.-6	17.996,29	14.386,03	2.423,14	79.876,84	11.593,95	16.760,75
Comb.-7	12.838,27	14.386,03	2.690,93	79.967,77	12.875,28	18.325,58
Comb.-8	18.930,16	14.386,03	2.351,97	79.415,84	11.253,44	16.720,69
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	14.386,03	1.980,11	54.945,12	9.474,22	14.826,90
Comb.-17272	7.839,90	14.386,03	1.583,79	53.268,84	7.577,93	12.947,55
Comb.-17273	12.787,20	14.386,03	1.852,74	63.487,77	8.864,79	14.217,47
Comb.-17274	18.879,09	14.386,03	1.477,27	62.220,34	7.068,30	12.437,92
Comb.-17275	13.652,40	14.386,03	1.753,94	62.416,34	8.392,03	13.974,47
Comb.-17276	19.744,29	14.386,03	1.394,11	61.455,55	6.670,40	12.269,77
Comb.-17277	14.586,28	14.386,03	1.660,76	61.523,89	7.946,21	13.829,09
Comb.-17278	20.678,17	14.386,03	1.321,79	60.971,96	6.324,38	12.224,20
Comb.-17279	15.592,70	14.386,03	1.588,06	61.105,47	7.598,39	13.711,03
Comb.-17280	21.684,59	14.386,03	1.264,74	60.860,17	6.051,41	12.180,99

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

BdC1-FOTOVOLTÁICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	16.507,60	994,00	35.990,49	4.755,99	10.213,93
Comb.-2	6.091,89	16.507,60	778,56	37.859,66	3.725,18	9.200,06
Comb.-3	11.039,19	16.507,60	916,54	45.511,41	4.385,37	9.843,30
Comb.-4	17.131,08	16.507,60	720,99	47.770,32	3.449,69	8.924,57
Comb.-5	11.904,39	16.507,60	856,38	45.197,48	4.097,53	9.785,22
Comb.-6	17.996,29	16.507,60	677,95	47.791,95	3.243,77	8.948,40
Comb.-7	12.838,27	16.507,60	799,58	45.017,97	3.825,74	9.813,88
Comb.-8	18.930,16	16.507,60	645,02	48.080,39	3.086,21	9.091,30
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	16.507,60	465,69	27.383,28	2.228,17	8.118,69
Comb.-17272	7.839,90	16.507,60	250,25	29.252,44	1.197,35	7.104,81
Comb.-17273	12.787,20	16.507,60	403,61	37.205,68	1.931,14	7.821,65
Comb.-17274	18.879,09	16.507,60	208,05	39.464,59	995,46	6.902,92
Comb.-17275	13.652,40	16.507,60	355,78	37.133,41	1.702,29	7.822,56
Comb.-17276	19.744,29	16.507,60	177,34	39.727,88	848,53	6.985,74
Comb.-17277	14.586,28	16.507,60	306,99	37.111,10	1.468,87	7.889,59
Comb.-17278	20.678,17	16.507,60	152,43	40.173,53	729,34	7.167,01
Comb.-17279	15.592,70	16.507,60	270,84	37.408,81	1.295,87	7.946,34
Comb.-17280	21.684,59	16.507,60	132,66	40.792,37	634,73	7.302,15

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

BdC2-FOTOVOLTÁICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	21.763,02	2.169,84	64.292,89	10.382,02	15.839,96
Comb.-2	6.091,89	21.763,02	1.773,52	62.616,61	8.485,72	13.960,61
Comb.-3	11.039,19	21.763,02	2.040,53	72.797,52	9.763,31	15.221,24
Comb.-4	17.131,08	21.763,02	1.666,88	71.565,78	7.975,52	13.450,41
Comb.-5	11.904,39	21.763,02	1.939,83	71.688,85	9.281,46	14.969,15
Comb.-6	17.996,29	21.763,02	1.584,58	70.817,80	7.581,73	13.286,36
Comb.-7	12.838,27	21.763,02	1.847,80	70.818,99	8.841,15	14.829,29
Comb.-8	18.930,16	21.763,02	1.517,32	70.433,36	7.259,91	13.265,00
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	21.763,02	1.145,13	45.956,04	5.479,08	11.369,60
Comb.-17272	7.839,90	21.763,02	748,80	44.279,77	3.582,78	9.490,24
Comb.-17273	12.787,20	21.763,02	1.024,35	54.628,00	4.901,21	10.791,73
Comb.-17274	18.879,09	21.763,02	650,71	53.396,26	3.113,43	9.020,89
Comb.-17275	13.652,40	21.763,02	930,75	53.658,62	4.453,37	10.573,64
Comb.-17276	19.744,29	21.763,02	575,51	52.787,57	2.753,64	8.890,85
Comb.-17277	14.586,28	21.763,02	841,56	52.844,35	4.026,63	10.447,35
Comb.-17278	20.678,17	21.763,02	511,09	52.458,71	2.445,39	8.883,05
Comb.-17279	15.592,70	21.763,02	772,08	52.488,80	3.694,15	10.344,63
Comb.-17280	21.684,59	21.763,02	463,20	52.526,51	2.216,26	8.883,68

Caso A - Ubicación de edificio de estudio en Granada

Combinaciones	BdC-GEOTÉRMICA				Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
	COSTE Mejoras Envvvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total		
	(€)					
Comb.-1	0,00	17.069,54	1.285,34	42.262,83	6.149,97	13.594,27
Comb.-2	6.091,89	17.069,54	1.168,30	46.060,66	5.589,96	13.051,20
Comb.-3	11.039,19	17.069,54	1.230,92	52.235,34	5.889,58	13.333,88
Comb.-4	17.131,08	17.069,54	1.120,04	56.153,91	5.359,05	12.820,29
Comb.-5	11.904,39	17.069,54	1.188,32	52.265,46	5.685,73	13.359,78
Comb.-6	17.996,29	17.069,54	1.082,06	56.274,59	5.177,30	12.868,30
Comb.-7	12.838,27	17.069,54	1.151,82	52.483,93	5.511,09	13.485,59
Comb.-8	18.930,16	17.069,54	1.051,72	56.613,80	5.032,13	13.023,58
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	17.069,54	788,90	34.280,39	3.774,65	11.651,53
Comb.-17272	7.839,90	17.069,54	671,86	38.078,22	3.214,65	11.108,47
Comb.-17273	12.787,20	17.069,54	735,41	44.271,17	3.518,73	11.395,60
Comb.-17274	18.879,09	17.069,54	624,53	48.189,74	2.988,19	10.882,02
Comb.-17275	13.652,40	17.069,54	693,72	44.319,20	3.319,24	11.425,88
Comb.-17276	19.744,29	17.069,54	587,46	48.328,32	2.810,82	10.934,40
Comb.-17277	14.586,28	17.069,54	656,67	44.526,81	3.141,95	11.549,04
Comb.-17278	20.678,17	17.069,54	556,57	48.656,67	2.663,00	11.087,03
Comb.-17279	15.592,70	17.069,54	627,53	44.962,04	3.002,52	11.639,36
Comb.-17280	21.684,59	17.069,54	532,05	49.182,46	2.545,67	11.199,46

## A.2.2. Caso B - Ubicación en Madrid.

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

Combinaciones	CASO BASE				Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
	COSTE Mejoras Envvvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total		
	(€)					
Comb.-1	0,00	20.720,21	2.614,39	71.963,49	23.645,82	28.565,92
Comb.-2	6.091,89	20.720,21	2.327,06	72.423,46	22.271,01	27.208,05
Comb.-3	11.039,19	20.720,21	2.501,13	80.782,68	22.636,34	27.556,44
Comb.-4	17.131,08	20.720,21	2.228,92	81.539,06	21.333,89	26.270,93
Comb.-5	11.904,39	20.720,21	2.412,63	79.913,21	21.842,21	26.992,06
Comb.-6	17.996,29	20.720,21	2.151,76	80.891,91	20.594,02	25.760,82
Comb.-7	12.838,27	20.720,21	2.334,96	79.324,64	21.203,45	26.653,76
Comb.-8	18.930,16	20.720,21	2.089,21	80.599,76	20.027,62	25.494,87
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	20.720,21	1.625,14	54.321,72	13.341,11	18.693,79
Comb.-17272	7.839,90	20.720,21	1.337,81	54.781,69	11.966,30	17.335,92
Comb.-17273	12.787,20	20.720,21	1.513,97	63.181,80	12.353,37	17.706,04
Comb.-17274	18.879,09	20.720,21	1.241,75	63.938,19	11.050,91	16.420,53
Comb.-17275	13.652,40	20.720,21	1.427,52	62.352,68	11.580,68	17.163,11
Comb.-17276	19.744,29	20.720,21	1.166,65	63.331,38	10.332,49	15.931,87
Comb.-17277	14.586,28	20.720,21	1.348,96	61.746,61	10.932,61	16.815,50
Comb.-17278	20.678,17	20.720,21	1.103,21	63.021,73	9.756,79	15.656,61
Comb.-17279	15.592,70	20.720,21	1.287,37	61.545,90	10.418,84	16.531,48
Comb.-17280	21.684,59	20.720,21	1.052,96	63.043,33	9.297,28	15.426,87

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

C1-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	23.885,81	3.092,03	84.491,04	23.867,61	28.787,71
Comb.-2	6.091,89	23.885,81	2.743,75	83.756,36	22.201,17	27.138,21
Comb.-3	11.039,19	23.885,81	2.957,97	92.902,61	22.845,26	27.765,36
Comb.-4	17.131,08	23.885,81	2.628,02	92.527,23	21.266,53	26.203,57
Comb.-5	11.904,39	23.885,81	2.853,26	91.715,37	22.042,24	27.192,10
Comb.-6	17.996,29	23.885,81	2.537,05	91.609,46	20.529,29	25.696,09
Comb.-7	12.838,27	23.885,81	2.760,96	90.840,03	21.382,97	26.833,28
Comb.-8	18.930,16	23.885,81	2.463,08	91.093,41	19.957,73	25.424,98
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	23.885,81	1.931,43	63.490,62	13.775,37	19.128,05
Comb.-17272	7.839,90	23.885,81	1.583,14	62.755,94	12.108,93	17.478,55
Comb.-17273	12.787,20	23.885,81	1.799,81	71.950,17	12.774,31	18.126,99
Comb.-17274	18.879,09	23.885,81	1.469,86	71.574,79	11.195,57	16.565,20
Comb.-17275	13.652,40	23.885,81	1.697,52	70.810,27	11.992,29	17.574,72
Comb.-17276	19.744,29	23.885,81	1.381,31	70.704,35	10.479,33	16.078,71
Comb.-17277	14.586,28	23.885,81	1.604,16	69.914,39	11.323,91	17.206,79
Comb.-17278	20.678,17	23.885,81	1.306,29	70.167,77	9.898,66	15.798,49
Comb.-17279	15.592,70	23.885,81	1.531,03	69.487,29	10.795,47	16.908,11
Comb.-17280	21.684,59	23.885,81	1.246,90	70.010,13	9.436,00	15.565,58

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

C2-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	20.444,89	2.708,74	73.537,38	23.867,61	28.787,71
Comb.-2	6.091,89	20.444,89	2.360,45	72.802,70	22.201,17	27.138,21
Comb.-3	11.039,19	20.444,89	2.590,77	82.264,36	22.845,26	27.765,36
Comb.-4	17.131,08	20.444,89	2.260,82	81.888,98	21.266,53	26.203,57
Comb.-5	11.904,39	20.444,89	2.498,82	81.327,18	22.042,24	27.192,10
Comb.-6	17.996,29	20.444,89	2.182,61	81.221,26	20.529,29	25.696,09
Comb.-7	12.838,27	20.444,89	2.415,70	80.632,03	21.382,97	26.833,28
Comb.-8	18.930,16	20.444,89	2.117,83	80.885,41	19.957,73	25.424,98
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	20.444,89	1.739,88	56.295,40	13.775,37	19.128,05
Comb.-17272	7.839,90	20.444,89	1.391,60	55.560,72	12.108,93	17.478,55
Comb.-17273	12.787,20	20.444,89	1.623,96	65.062,43	12.774,31	18.126,99
Comb.-17274	18.879,09	20.444,89	1.294,00	64.687,04	11.195,57	16.565,20
Comb.-17275	13.652,40	20.444,89	1.534,02	64.164,76	11.992,29	17.574,72
Comb.-17276	19.744,29	20.444,89	1.217,81	64.058,85	10.479,33	16.078,71
Comb.-17277	14.586,28	20.444,89	1.450,03	63.452,47	11.323,91	17.206,79
Comb.-17278	20.678,17	20.444,89	1.152,16	63.705,85	9.898,66	15.798,49
Comb.-17279	15.592,70	20.444,89	1.384,44	63.173,17	10.795,47	16.908,11
Comb.-17280	21.684,59	20.444,89	1.100,31	63.696,01	9.436,00	15.565,58

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

C3-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	34.133,51	1.419,68	61.959,78	26.186,39	31.106,49
Comb.-2	6.091,89	34.133,51	1.071,39	61.225,10	24.519,95	29.456,99
Comb.-3	11.039,19	34.133,51	1.355,83	71.747,50	25.066,69	29.986,79
Comb.-4	17.131,08	34.133,51	1.025,87	71.372,12	23.487,96	28.425,00
Comb.-5	11.904,39	34.133,51	1.306,78	71.651,29	24.186,49	29.336,35
Comb.-6	17.996,29	34.133,51	990,57	71.545,38	22.673,54	27.840,34
Comb.-7	12.838,27	34.133,51	1.254,58	71.562,15	23.471,61	28.921,91
Comb.-8	18.930,16	34.133,51	956,71	71.815,52	22.046,36	27.513,61
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	34.133,51	1.095,71	57.357,86	14.934,12	20.286,80
Comb.-17272	7.839,90	34.133,51	747,42	56.623,19	13.267,68	18.637,30
Comb.-17273	12.787,20	34.133,51	1.032,54	67.158,98	13.838,16	19.190,84
Comb.-17274	18.879,09	34.133,51	702,59	66.783,60	12.259,42	17.629,04
Comb.-17275	13.652,40	34.133,51	984,17	67.075,98	12.981,37	18.563,81
Comb.-17276	19.744,29	34.133,51	667,96	66.970,07	11.468,42	17.067,80
Comb.-17277	14.586,28	34.133,51	931,68	66.981,11	12.256,33	18.139,21
Comb.-17278	20.678,17	34.133,51	633,80	67.234,48	10.831,08	16.730,91
Comb.-17279	15.592,70	34.133,51	891,44	67.198,88	11.682,27	17.794,91
Comb.-17280	21.684,59	34.133,51	607,31	67.721,72	10.322,80	16.452,39

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

BdC-GEOTÉRMICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	17.069,54	1.767,31	51.709,68	8.456,05	13.376,15
Comb.-2	6.091,89	17.069,54	1.640,45	55.315,07	7.849,07	12.786,11
Comb.-3	11.039,19	17.069,54	1.691,52	61.263,36	8.093,42	13.013,52
Comb.-4	17.131,08	17.069,54	1.571,34	64.999,63	7.518,38	12.455,43
Comb.-5	11.904,39	17.069,54	1.632,01	60.962,04	7.808,66	12.958,51
Comb.-6	17.996,29	17.069,54	1.516,83	64.796,46	7.257,58	12.424,38
Comb.-7	12.838,27	17.069,54	1.582,99	60.935,04	7.574,10	13.024,40
Comb.-8	18.930,16	17.069,54	1.474,49	64.900,32	7.054,97	12.522,22
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	17.069,54	1.023,31	38.874,96	4.896,24	10.248,92
Comb.-17272	7.839,90	17.069,54	896,45	42.480,35	4.289,26	9.658,88
Comb.-17273	12.787,20	17.069,54	949,09	48.459,40	4.541,12	9.893,80
Comb.-17274	18.879,09	17.069,54	828,91	52.195,66	3.966,08	9.335,71
Comb.-17275	13.652,40	17.069,54	891,13	48.188,42	4.263,77	9.846,20
Comb.-17276	19.744,29	17.069,54	775,95	52.022,83	3.712,69	9.312,07
Comb.-17277	14.586,28	17.069,54	841,43	48.148,25	4.025,99	9.908,87
Comb.-17278	20.678,17	17.069,54	732,93	52.113,53	3.506,86	9.406,69
Comb.-17279	15.592,70	17.069,54	802,16	48.384,90	3.838,08	9.950,72
Comb.-17280	21.684,59	17.069,54	698,67	52.448,34	3.342,91	9.472,49

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

BdC-1						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	9.130,60	2.487,63	57.889,31	11.902,55	16.822,65
Comb.-2	6.091,89	9.130,60	2.248,19	59.287,94	10.756,87	15.693,92
Comb.-3	11.039,19	9.130,60	2.380,28	66.824,25	11.388,88	16.308,98
Comb.-4	17.131,08	9.130,60	2.153,43	68.469,89	10.303,50	15.240,54
Comb.-5	11.904,39	9.130,60	2.296,24	66.042,32	10.986,80	16.136,65
Comb.-6	17.996,29	9.130,60	2.078,85	67.873,22	9.946,64	15.113,44
Comb.-7	12.838,27	9.130,60	2.224,10	65.562,25	10.641,63	16.091,94
Comb.-8	18.930,16	9.130,60	2.019,31	67.640,16	9.661,78	15.129,03
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	9.130,60	1.508,69	40.449,52	7.218,59	12.571,27
Comb.-17272	7.839,90	9.130,60	1.269,24	41.848,14	6.072,91	11.442,54
Comb.-17273	12.787,20	9.130,60	1.403,39	49.424,92	6.714,80	12.067,48
Comb.-17274	18.879,09	9.130,60	1.176,55	51.070,56	5.629,42	10.999,04
Comb.-17275	13.652,40	9.130,60	1.321,39	48.682,92	6.322,46	11.904,90
Comb.-17276	19.744,29	9.130,60	1.104,00	50.513,82	5.282,31	10.881,68
Comb.-17277	14.586,28	9.130,60	1.248,37	48.185,53	5.973,07	11.855,96
Comb.-17278	20.678,17	9.130,60	1.043,58	50.263,44	4.993,21	10.893,04
Comb.-17279	15.592,70	9.130,60	1.190,97	48.066,86	5.698,43	11.811,07
Comb.-17280	21.684,59	9.130,60	995,63	50.330,04	4.763,79	10.893,38

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

BdC-2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	14.386,03	3.714,36	87.189,13	17.772,06	22.692,16
Comb.-2	6.091,89	14.386,03	3.366,07	86.454,46	16.105,62	21.042,66
Comb.-3	11.039,19	14.386,03	3.554,17	95.088,61	17.005,62	21.925,72
Comb.-4	17.131,08	14.386,03	3.224,22	94.713,23	15.426,88	20.363,93
Comb.-5	11.904,39	14.386,03	3.428,75	93.495,37	16.405,49	21.555,34
Comb.-6	17.996,29	14.386,03	3.112,54	93.389,46	14.892,53	20.059,33
Comb.-7	12.838,27	14.386,03	3.321,52	92.327,47	15.892,42	21.342,72
Comb.-8	18.930,16	14.386,03	3.023,64	92.580,84	14.467,17	19.934,42
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	14.386,03	2.242,42	60.086,42	10.729,27	16.081,95
Comb.-17272	7.839,90	14.386,03	1.894,13	59.351,74	9.062,83	14.432,45
Comb.-17273	12.787,20	14.386,03	2.085,34	68.046,74	9.977,69	15.330,36
Comb.-17274	18.879,09	14.386,03	1.755,38	67.671,36	8.398,95	13.768,57
Comb.-17275	13.652,40	14.386,03	1.962,97	66.513,54	9.392,21	14.974,64
Comb.-17276	19.744,29	14.386,03	1.646,76	66.407,62	7.879,25	13.478,63
Comb.-17277	14.586,28	14.386,03	1.854,41	65.319,59	8.872,78	14.755,66
Comb.-17278	20.678,17	14.386,03	1.556,53	65.572,96	7.447,53	13.347,36
Comb.-17279	15.592,70	14.386,03	1.769,03	64.652,51	8.464,26	14.576,90
Comb.-17280	21.684,59	14.386,03	1.484,90	65.175,36	7.104,79	13.234,38

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

BdC1-FOTOVOLTÁICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	16.507,60	1.366,36	43.288,91	6.537,62	11.995,56
Comb.-2	6.091,89	16.507,60	1.213,60	46.386,68	5.806,72	11.281,60
Comb.-3	11.039,19	16.507,60	1.274,99	52.537,09	6.100,41	11.558,35
Comb.-4	17.131,08	16.507,60	1.141,41	56.010,85	5.461,30	10.936,18
Comb.-5	11.904,39	16.507,60	1.205,60	52.042,34	5.768,43	11.456,13
Comb.-6	17.996,29	16.507,60	1.084,36	55.757,88	5.188,34	10.892,98
Comb.-7	12.838,27	16.507,60	1.151,01	51.906,25	5.507,24	11.495,38
Comb.-8	18.930,16	16.507,60	1.041,25	55.846,73	4.982,06	10.987,15
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	16.507,60	582,47	29.672,36	2.786,96	8.677,48
Comb.-17272	7.839,90	16.507,60	429,72	32.770,13	2.056,06	7.963,52
Comb.-17273	12.787,20	16.507,60	498,32	39.062,15	2.384,32	8.274,84
Comb.-17274	18.879,09	16.507,60	364,75	42.535,92	1.745,21	7.652,67
Comb.-17275	13.652,40	16.507,60	434,97	38.685,56	2.081,19	8.201,46
Comb.-17276	19.744,29	16.507,60	313,73	42.401,10	1.501,09	7.638,31
Comb.-17277	14.586,28	16.507,60	383,20	38.604,73	1.833,48	8.254,21
Comb.-17278	20.678,17	16.507,60	273,44	42.545,22	1.308,30	7.745,97
Comb.-17279	15.592,70	16.507,60	346,33	38.888,47	1.657,07	8.307,55
Comb.-17280	21.684,59	16.507,60	245,04	42.995,03	1.172,43	7.839,85

Caso B - Ubicación de edificio de estudio en Madrid

BdC2-FOTOVOLTÁICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	21.763,02	2.892,94	78.465,85	13.841,80	19.299,74
Comb.-2	6.091,89	21.763,02	2.558,01	77.992,95	12.239,26	17.176,30
Comb.-3	11.039,19	21.763,02	2.732,75	86.365,33	13.075,36	17.995,46
Comb.-4	17.131,08	21.763,02	2.423,13	86.388,47	11.593,91	16.530,95
Comb.-5	11.904,39	21.763,02	2.607,32	84.772,08	12.475,23	17.625,08
Comb.-6	17.996,29	21.763,02	2.316,68	85.167,26	11.084,59	16.251,39
Comb.-7	12.838,27	21.763,02	2.500,09	83.604,18	11.962,16	17.412,46
Comb.-8	18.930,16	21.763,02	2.234,76	84.495,40	10.692,61	16.159,86
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	21.763,02	1.420,99	51.363,13	6.799,01	12.151,69
Comb.-17272	7.839,90	21.763,02	1.086,06	50.890,23	5.196,47	10.566,10
Comb.-17273	12.787,20	21.763,02	1.263,91	59.323,45	6.047,43	11.400,10
Comb.-17274	18.879,09	21.763,02	954,29	59.346,60	4.565,98	9.935,60
Comb.-17275	13.652,40	21.763,02	1.143,94	57.837,23	5.473,42	11.055,85
Comb.-17276	19.744,29	21.763,02	853,30	58.232,40	4.082,78	9.682,16
Comb.-17277	14.586,28	21.763,02	1.040,42	56.741,93	4.978,07	10.860,95
Comb.-17278	20.678,17	21.763,02	775,08	57.633,15	3.708,53	9.608,36
Comb.-17279	15.592,70	21.763,02	959,08	56.154,21	4.588,92	10.701,56
Comb.-17280	21.684,59	21.763,02	712,73	57.417,46	3.410,20	9.539,78

### A.2.3. Caso C - Ubicación en Sevilla.

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

CASO BASE						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (Kwh/año)	Consumo+EE (Kwh/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	20.720,21	1.478,21	49.693,82	11.192,50	16.112,60
Comb.-2	6.091,89	20.720,21	1.139,46	49.146,10	9.571,70	14.508,74
Comb.-3	11.039,19	20.720,21	1.416,06	59.514,81	10.745,91	15.666,01
Comb.-4	17.131,08	20.720,21	1.095,14	59.316,54	9.210,41	14.147,46
Comb.-5	11.904,39	20.720,21	1.368,38	59.445,40	10.399,83	15.549,69
Comb.-6	17.996,29	20.720,21	1.060,83	59.509,22	8.928,31	14.095,11
Comb.-7	12.838,27	20.720,21	1.316,93	59.370,91	10.064,76	15.515,06
Comb.-8	18.930,16	20.720,21	1.027,21	59.784,19	8.678,54	14.145,79
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	20.720,21	1.174,56	45.490,11	8.029,46	13.382,14
Comb.-17272	7.839,90	20.720,21	835,81	44.942,39	6.408,66	11.778,28
Comb.-17273	12.787,20	20.720,21	1.112,52	55.313,30	7.584,04	12.936,72
Comb.-17274	18.879,09	20.720,21	791,60	55.115,03	6.048,54	11.418,16
Comb.-17275	13.652,40	20.720,21	1.064,95	55.246,13	7.239,15	12.821,58
Comb.-17276	19.744,29	20.720,21	757,40	55.309,95	5.767,63	11.367,01
Comb.-17277	14.586,28	20.720,21	1.013,33	55.168,21	6.902,25	12.785,13
Comb.-17278	20.678,17	20.720,21	723,61	55.581,48	5.516,03	11.415,86
Comb.-17279	15.592,70	20.720,21	973,75	55.398,77	6.640,54	12.753,18
Comb.-17280	21.684,59	20.720,21	697,40	56.074,14	5.318,30	11.447,88

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

C1-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (Kwh/año)	Consumo+EE (Kwh/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	23.885,81	1.785,16	58.875,78	11.897,81	16.817,91
Comb.-2	6.091,89	23.885,81	1.364,65	56.725,39	9.885,77	14.822,82
Comb.-3	11.039,19	23.885,81	1.709,81	68.438,11	11.415,72	16.335,83
Comb.-4	17.131,08	23.885,81	1.311,43	66.721,53	9.509,59	14.446,63
Comb.-5	11.904,39	23.885,81	1.652,05	68.171,09	11.043,25	16.193,11
Comb.-6	17.996,29	23.885,81	1.270,27	66.779,86	9.216,54	14.383,34
Comb.-7	12.838,27	23.885,81	1.589,26	67.874,29	10.670,39	16.120,69
Comb.-8	18.930,16	23.885,81	1.229,61	66.916,87	8.949,57	14.416,82
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	23.885,81	1.428,91	53.641,13	8.799,98	14.152,66
Comb.-17272	7.839,90	23.885,81	1.008,40	51.490,75	6.787,95	12.157,58
Comb.-17273	12.787,20	23.885,81	1.353,70	63.206,05	8.319,05	13.671,72
Comb.-17274	18.879,09	23.885,81	955,31	61.489,47	6.412,91	11.782,53
Comb.-17275	13.652,40	23.885,81	1.296,06	62.941,65	7.947,74	13.530,17
Comb.-17276	19.744,29	23.885,81	914,28	61.550,42	6.121,03	11.720,40
Comb.-17277	14.586,28	23.885,81	1.233,07	62.640,82	7.573,09	13.455,97
Comb.-17278	20.678,17	23.885,81	873,42	61.683,40	5.852,27	11.752,10
Comb.-17279	15.592,70	23.885,81	1.184,81	62.701,27	7.283,25	13.395,89
Comb.-17280	21.684,59	23.885,81	841,76	62.069,20	5.641,85	11.771,44

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

C2-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	20.444,89	1.643,37	52.655,74	11.897,81	16.817,91
Comb.-2	6.091,89	20.444,89	1.222,86	50.505,36	9.885,77	14.822,82
Comb.-3	11.039,19	20.444,89	1.573,16	62.318,74	11.415,72	16.335,83
Comb.-4	17.131,08	20.444,89	1.174,78	60.602,16	9.509,59	14.446,63
Comb.-5	11.904,39	20.444,89	1.519,45	62.131,26	11.043,25	16.193,11
Comb.-6	17.996,29	20.444,89	1.137,67	60.740,04	9.216,54	14.383,34
Comb.-7	12.838,27	20.444,89	1.459,73	61.894,45	10.670,39	16.120,69
Comb.-8	18.930,16	20.444,89	1.100,08	60.937,03	8.949,57	14.416,82
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	20.444,89	1.345,98	48.574,75	8.799,98	14.152,66
Comb.-17272	7.839,90	20.444,89	925,47	46.424,37	6.787,95	12.157,58
Comb.-17273	12.787,20	20.444,89	1.275,88	58.239,90	8.319,05	13.671,72
Comb.-17274	18.879,09	20.444,89	877,50	56.523,32	6.412,91	11.782,53
Comb.-17275	13.652,40	20.444,89	1.222,29	58.054,62	7.947,74	13.530,17
Comb.-17276	19.744,29	20.444,89	840,50	56.663,39	6.121,03	11.720,40
Comb.-17277	14.586,28	20.444,89	1.162,39	57.814,45	7.573,09	13.455,97
Comb.-17278	20.678,17	20.444,89	802,74	56.857,02	5.852,27	11.752,10
Comb.-17279	15.592,70	20.444,89	1.116,61	57.923,67	7.283,25	13.395,89
Comb.-17280	21.684,59	20.444,89	773,56	57.291,60	5.641,85	11.771,44

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

C3-BdC2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	34.133,51	1.150,44	56.682,74	12.755,57	17.675,67
Comb.-2	6.091,89	34.133,51	729,93	54.532,35	10.743,54	15.680,58
Comb.-3	11.039,19	34.133,51	1.098,09	66.695,67	12.242,42	17.162,52
Comb.-4	17.131,08	34.133,51	699,70	64.979,09	10.336,29	15.273,33
Comb.-5	11.904,39	34.133,51	1.058,49	66.784,78	11.845,40	16.995,25
Comb.-6	17.996,29	34.133,51	676,71	65.393,55	10.018,68	15.185,48
Comb.-7	12.838,27	34.133,51	1.009,40	66.756,50	11.454,02	16.904,32
Comb.-8	18.930,16	34.133,51	649,75	65.799,08	9.733,20	15.200,45
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	34.133,51	1.057,68	56.612,44	9.301,68	14.654,36
Comb.-17272	7.839,90	34.133,51	637,16	54.462,06	7.289,64	12.659,27
Comb.-17273	12.787,20	34.133,51	1.005,35	66.626,05	8.789,80	14.142,48
Comb.-17274	18.879,09	34.133,51	606,97	64.909,47	6.883,67	12.253,29
Comb.-17275	13.652,40	34.133,51	965,79	66.715,84	8.394,07	13.976,51
Comb.-17276	19.744,29	34.133,51	584,01	65.324,61	6.567,36	12.166,74
Comb.-17277	14.586,28	34.133,51	916,65	66.686,52	8.000,70	13.883,59
Comb.-17278	20.678,17	34.133,51	557,00	65.729,09	6.279,89	12.179,71
Comb.-17279	15.592,70	34.133,51	879,53	66.965,34	7.695,81	13.808,45
Comb.-17280	21.684,59	34.133,51	536,48	66.333,27	6.054,41	12.183,99

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

BdC-1						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	9.130,60	1.318,47	34.973,25	6.308,48	11.228,58
Comb.-2	6.091,89	9.130,60	1.028,12	35.374,05	4.919,22	9.856,27
Comb.-3	11.039,19	9.130,60	1.263,34	44.931,76	6.044,67	10.964,77
Comb.-4	17.131,08	9.130,60	988,26	45.632,08	4.728,53	9.665,58
Comb.-5	11.904,39	9.130,60	1.220,99	44.967,00	5.842,07	10.991,93
Comb.-6	17.996,29	9.130,60	957,38	45.891,98	4.580,77	9.747,57
Comb.-7	12.838,27	9.130,60	1.175,79	45.014,81	5.625,77	11.076,08
Comb.-8	18.930,16	9.130,60	927,46	46.239,32	4.437,59	9.904,84
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	9.130,60	1.036,85	31.201,30	4.961,00	10.313,68
Comb.-17272	7.839,90	9.130,60	746,49	31.602,10	3.571,74	8.941,36
Comb.-17273	12.787,20	9.130,60	981,82	41.161,84	4.697,69	10.050,37
Comb.-17274	18.879,09	9.130,60	706,74	41.862,17	3.381,55	8.751,17
Comb.-17275	13.652,40	9.130,60	939,58	41.199,17	4.495,59	10.078,03
Comb.-17276	19.744,29	9.130,60	675,97	42.124,15	3.234,29	8.833,67
Comb.-17277	14.586,28	9.130,60	894,21	41.243,79	4.278,52	10.161,40
Comb.-17278	20.678,17	9.130,60	645,88	42.468,30	3.090,33	8.990,16
Comb.-17279	15.592,70	9.130,60	859,38	41.567,49	4.111,86	10.224,50
Comb.-17280	21.684,59	9.130,60	622,51	43.016,65	2.978,51	9.108,10

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

BdC-2						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envuelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	14.386,03	1.942,33	52.456,48	9.293,43	14.213,53
Comb.-2	6.091,89	14.386,03	1.521,81	50.306,10	7.281,39	12.218,44
Comb.-3	11.039,19	14.386,03	1.861,29	61.907,25	8.905,67	13.825,78
Comb.-4	17.131,08	14.386,03	1.462,90	60.190,67	6.999,54	11.936,58
Comb.-5	11.904,39	14.386,03	1.799,02	61.552,04	8.607,76	13.757,61
Comb.-6	17.996,29	14.386,03	1.417,24	60.160,81	6.781,04	11.947,84
Comb.-7	12.838,27	14.386,03	1.732,84	61.188,75	8.291,11	13.741,41
Comb.-8	18.930,16	14.386,03	1.373,19	60.231,33	6.570,29	12.037,54
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	14.386,03	1.520,84	45.943,08	7.276,72	12.629,40
Comb.-17272	7.839,90	14.386,03	1.100,32	43.792,70	5.264,69	10.634,31
Comb.-17273	12.787,20	14.386,03	1.439,95	55.396,89	6.889,72	12.242,39
Comb.-17274	18.879,09	14.386,03	1.041,57	53.680,32	4.983,58	10.353,20
Comb.-17275	13.652,40	14.386,03	1.377,84	55.044,79	6.592,56	12.174,99
Comb.-17276	19.744,29	14.386,03	996,06	53.653,56	4.765,84	10.365,22
Comb.-17277	14.586,28	14.386,03	1.311,42	54.676,74	6.274,74	12.157,63
Comb.-17278	20.678,17	14.386,03	951,77	53.719,32	4.553,92	10.453,75
Comb.-17279	15.592,70	14.386,03	1.260,40	54.683,11	6.030,62	12.143,26
Comb.-17280	21.684,59	14.386,03	917,35	54.051,04	4.389,22	10.518,81

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

BdC1-FOTOVOLTÁICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	16.507,60	465,78	25.637,06	2.228,61	7.686,54
Comb.-2	6.091,89	16.507,60	236,62	27.237,40	1.132,17	6.607,05
Comb.-3	11.039,19	16.507,60	419,82	35.775,52	2.008,73	7.466,66
Comb.-4	17.131,08	16.507,60	211,74	37.788,86	1.013,11	6.487,99
Comb.-5	11.904,39	16.507,60	384,73	35.952,95	1.840,83	7.528,53
Comb.-6	17.996,29	16.507,60	194,52	38.316,63	930,73	6.635,37
Comb.-7	12.838,27	16.507,60	345,02	36.108,43	1.650,82	7.638,96
Comb.-8	18.930,16	16.507,60	180,15	38.968,76	861,96	6.867,04
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	16.507,60	312,32	24.377,18	1.494,35	7.384,86
Comb.-17272	7.839,90	16.507,60	83,16	25.977,52	397,91	6.305,37
Comb.-17273	12.787,20	16.507,60	272,67	34.639,21	1.304,63	7.195,15
Comb.-17274	18.879,09	16.507,60	64,58	36.652,55	309,01	6.216,47
Comb.-17275	13.652,40	16.507,60	243,76	34.937,75	1.166,30	7.286,57
Comb.-17276	19.744,29	16.507,60	53,55	37.301,43	256,20	6.393,42
Comb.-17277	14.586,28	16.507,60	210,14	35.212,71	1.005,45	7.426,17
Comb.-17278	20.678,17	16.507,60	45,27	38.073,03	216,59	6.654,26
Comb.-17279	15.592,70	16.507,60	184,76	35.721,69	884,02	7.534,50
Comb.-17280	21.684,59	16.507,60	38,89	38.954,50	186,09	6.853,51

Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

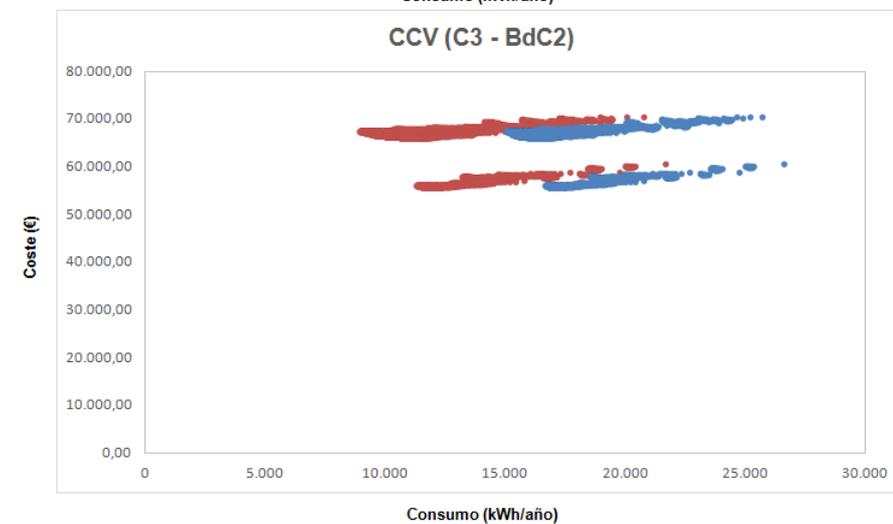
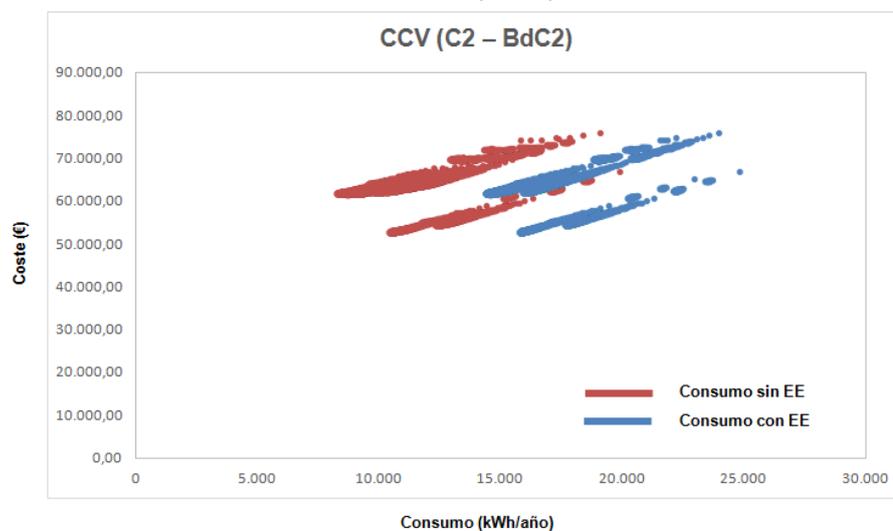
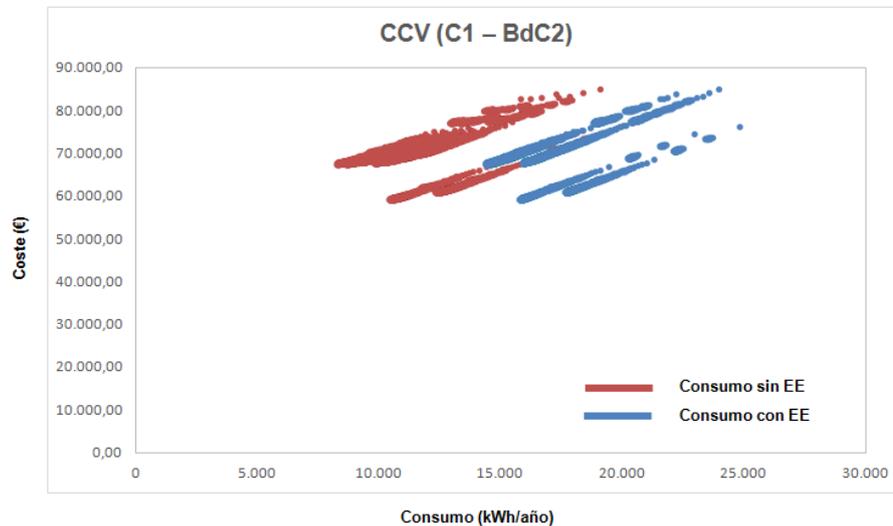
BdC2-FOTOVOLTÁICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	21.763,02	1.105,75	43.436,19	5.290,66	10.748,60
Comb.-2	6.091,89	21.763,02	685,23	41.285,80	3.278,63	8.753,51
Comb.-3	11.039,19	21.763,02	1.028,30	52.957,44	4.920,12	10.378,06
Comb.-4	17.131,08	21.763,02	630,73	51.256,65	3.017,84	8.492,72
Comb.-5	11.904,39	21.763,02	968,88	52.657,88	4.635,79	10.323,48
Comb.-6	17.996,29	21.763,02	590,80	51.339,32	2.826,81	8.531,45
Comb.-7	12.838,27	21.763,02	904,88	52.337,26	4.329,55	10.317,69
Comb.-8	18.930,16	21.763,02	555,30	51.577,35	2.656,95	8.662,03
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	21.763,02	752,39	38.258,16	3.599,94	9.490,46
Comb.-17272	7.839,90	21.763,02	331,87	36.107,77	1.587,91	7.495,37
Comb.-17273	12.787,20	21.763,02	679,43	47.867,33	3.250,86	9.141,37
Comb.-17274	18.879,09	21.763,02	281,85	46.166,55	1.348,58	7.256,04
Comb.-17275	13.652,40	21.763,02	627,63	47.717,21	3.003,00	9.123,28
Comb.-17276	19.744,29	21.763,02	249,55	46.398,65	1.194,03	7.331,24
Comb.-17277	14.586,28	21.763,02	569,10	47.504,00	2.722,99	9.143,71
Comb.-17278	20.678,17	21.763,02	219,53	46.744,09	1.050,39	7.488,05
Comb.-17279	15.592,70	21.763,02	524,44	47.634,92	2.509,27	9.159,75
Comb.-17280	21.684,59	21.763,02	197,75	47.323,62	946,18	7.613,60

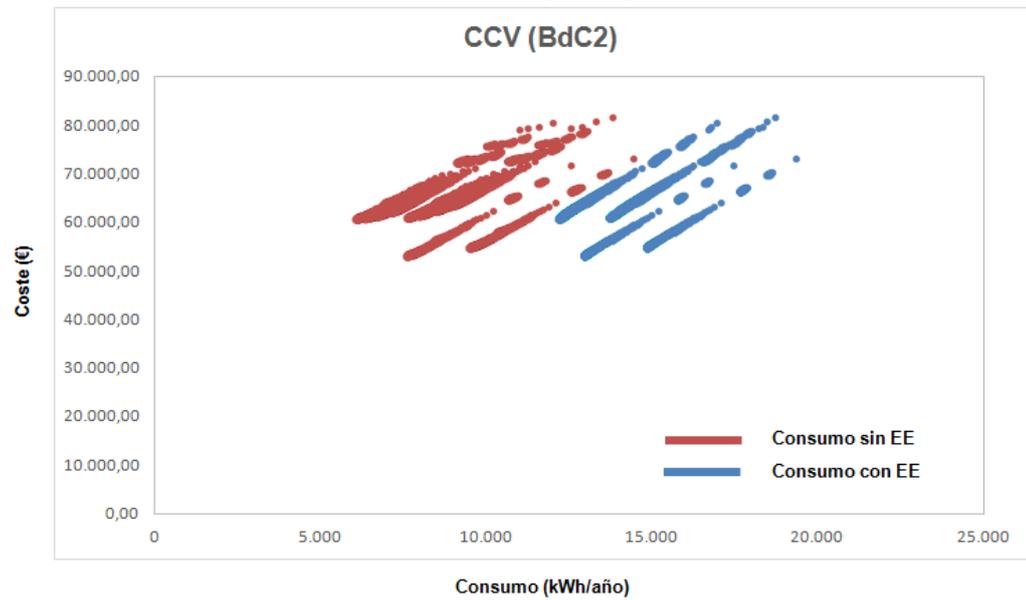
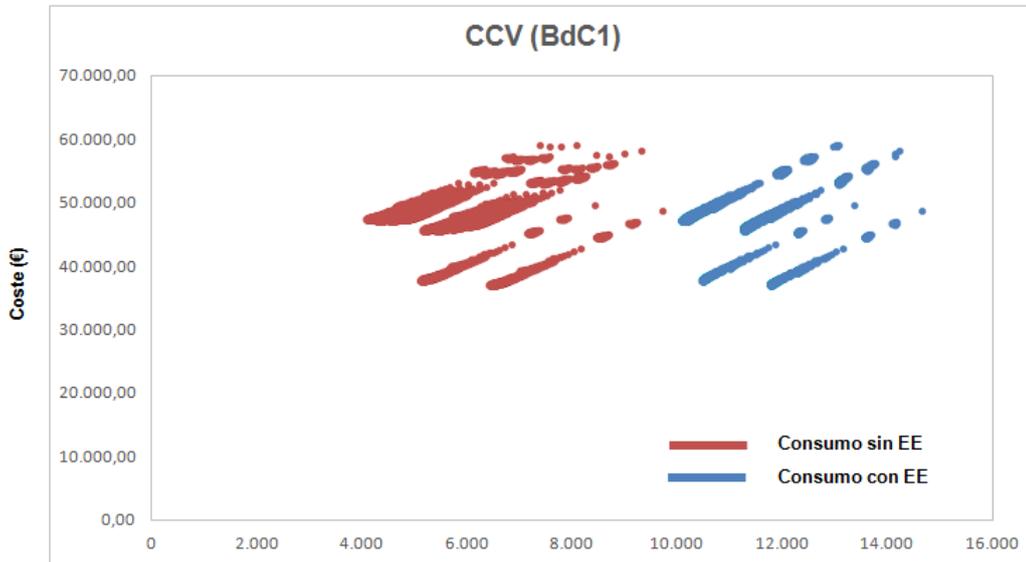
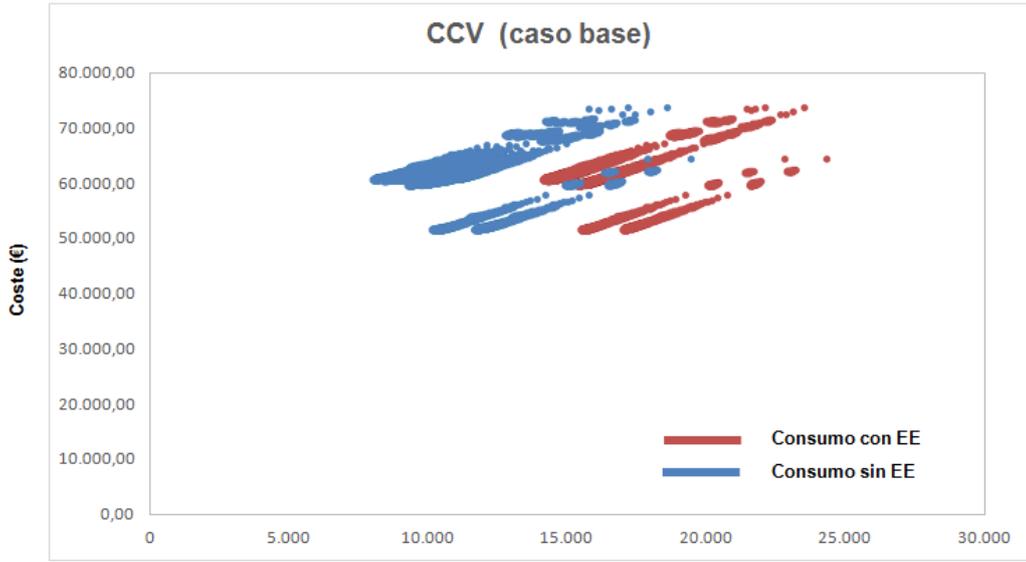
Caso C - Ubicación de edificio de estudio en Sevilla

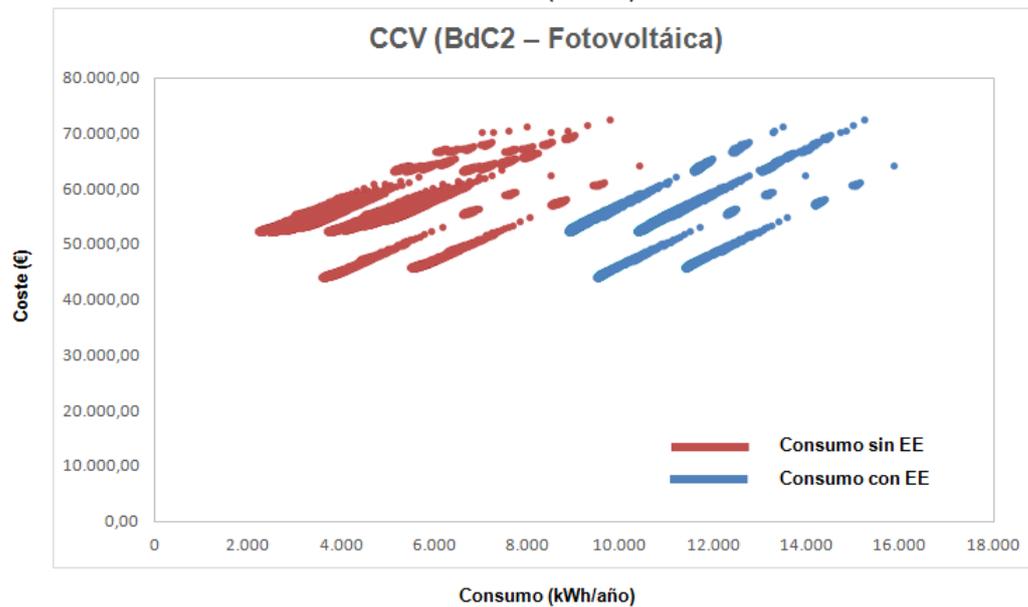
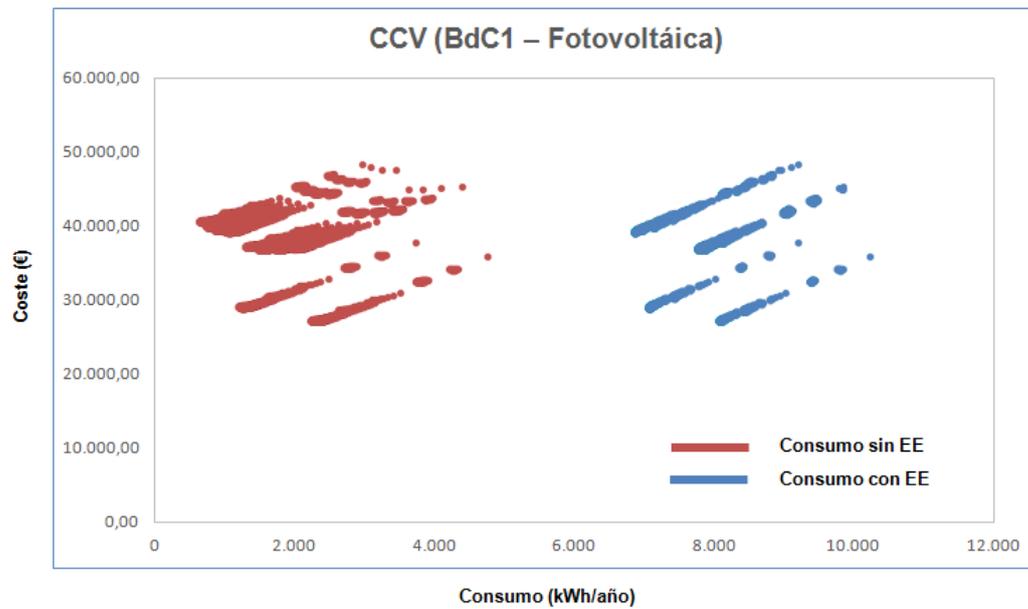
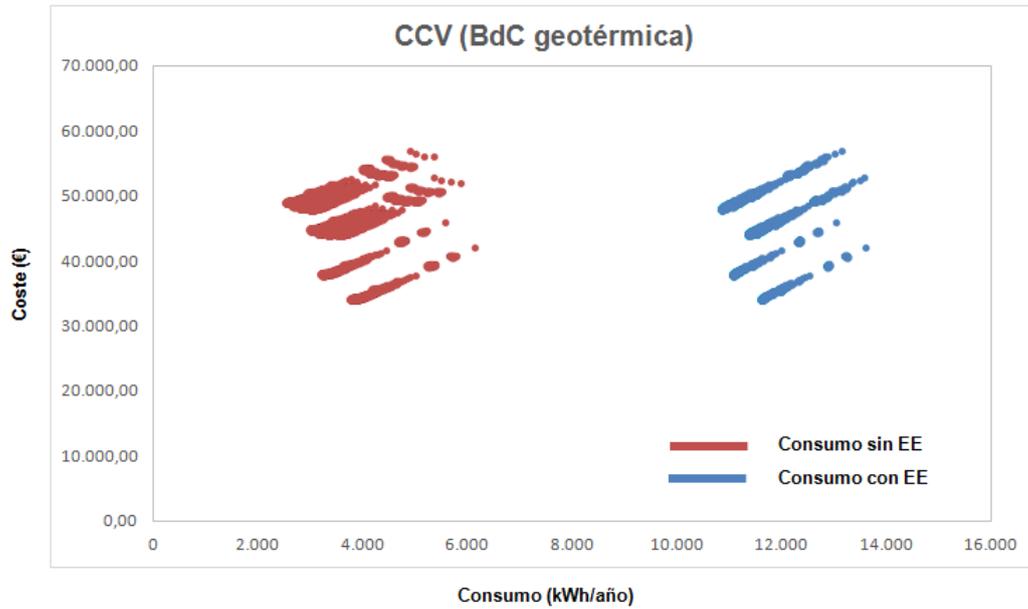
BdC-GEOTÉRMICA						
Combinaciones	COSTE Mejoras Envvelvente	COSTE Equipos	COSTE Operación Anual	COSTE Total	Consumo (KwH/año)	Consumo+EE (KwH/año)
(€)						
Comb.-1	0,00	17.069,54	761,78	32.000,67	3.644,86	11.089,16
Comb.-2	6.091,89	17.069,54	637,59	35.658,49	3.050,67	10.511,92
Comb.-3	11.039,19	17.069,54	731,03	42.437,18	3.497,74	10.942,04
Comb.-4	17.131,08	17.069,54	613,38	46.223,11	2.934,82	10.396,07
Comb.-5	11.904,39	17.069,54	707,25	42.836,39	3.383,98	11.058,04
Comb.-6	17.996,29	17.069,54	594,51	46.718,40	2.844,53	10.535,53
Comb.-7	12.838,27	17.069,54	683,65	43.307,59	3.271,04	11.245,54
Comb.-8	18.930,16	17.069,54	577,44	47.317,71	2.762,85	10.754,30
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Comb.-17271	1.748,01	17.069,54	559,19	29.777,87	2.675,54	10.552,42
Comb.-17272	7.839,90	17.069,54	435,00	33.435,69	2.081,35	9.975,18
Comb.-17273	12.787,20	17.069,54	528,51	40.215,85	2.528,78	10.405,66
Comb.-17274	18.879,09	17.069,54	410,87	44.001,78	1.965,86	9.859,69
Comb.-17275	13.652,40	17.069,54	504,82	40.616,55	2.415,39	10.522,02
Comb.-17276	19.744,29	17.069,54	392,07	44.498,56	1.875,93	9.999,51
Comb.-17277	14.586,28	17.069,54	481,09	41.085,46	2.301,88	10.708,97
Comb.-17278	20.678,17	17.069,54	374,88	45.095,58	1.793,70	10.217,73
Comb.-17279	15.592,70	17.069,54	462,72	41.731,80	2.213,98	10.850,82
Comb.-17280	21.684,59	17.069,54	361,41	45.838,00	1.729,25	10.383,04

### A.3. Gráficas de Costes de Ciclo de Vida frente a consumos energía.

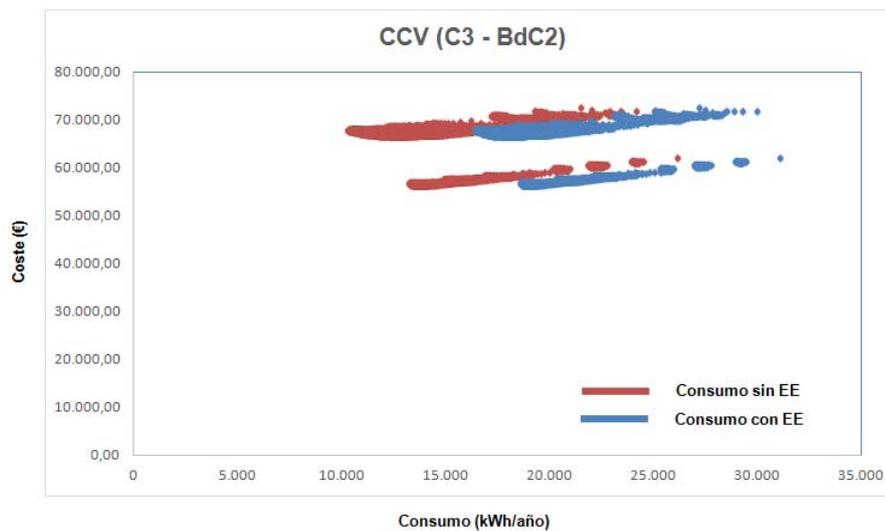
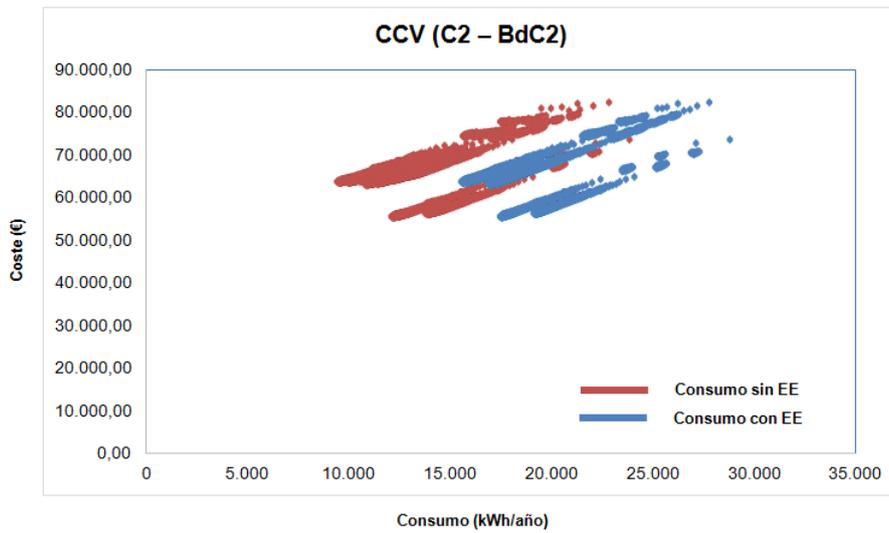
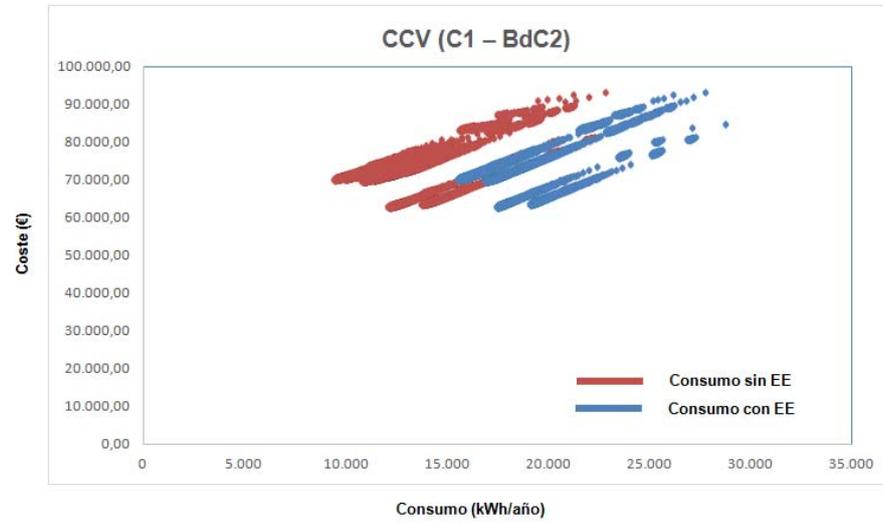
#### A.3.1. Caso A - Ubicación en Granada.

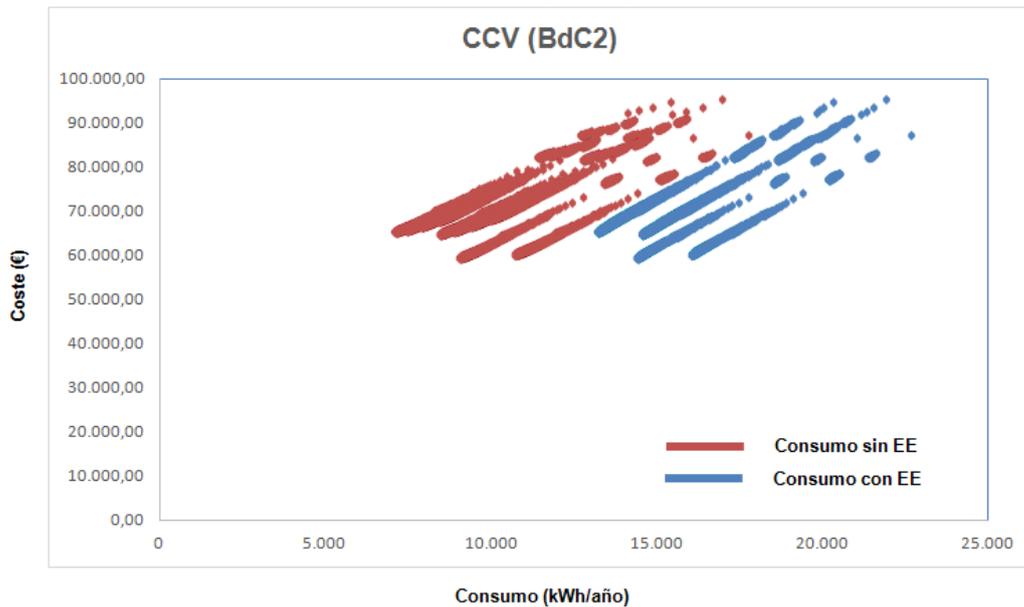
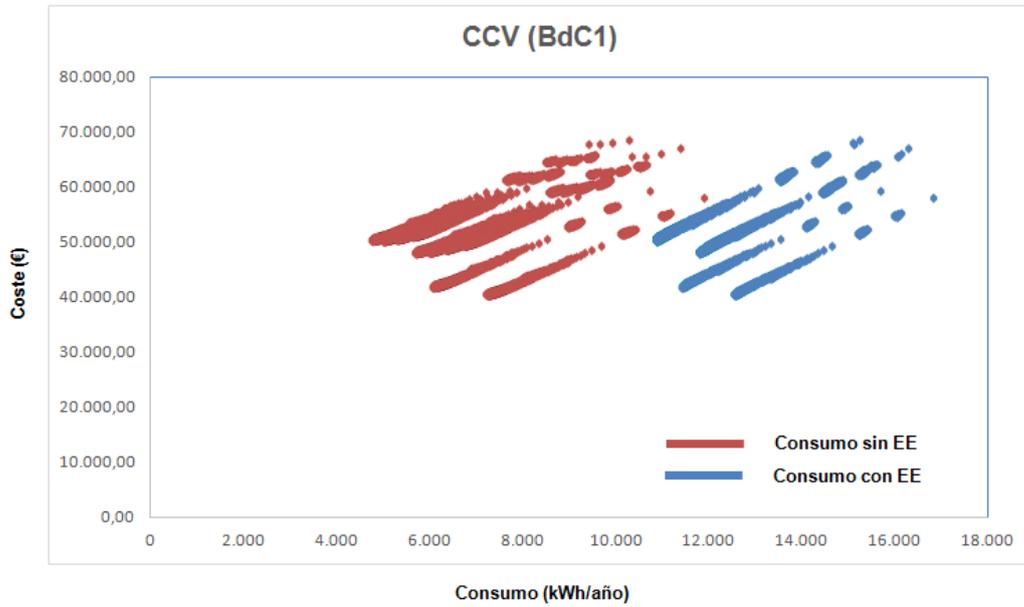
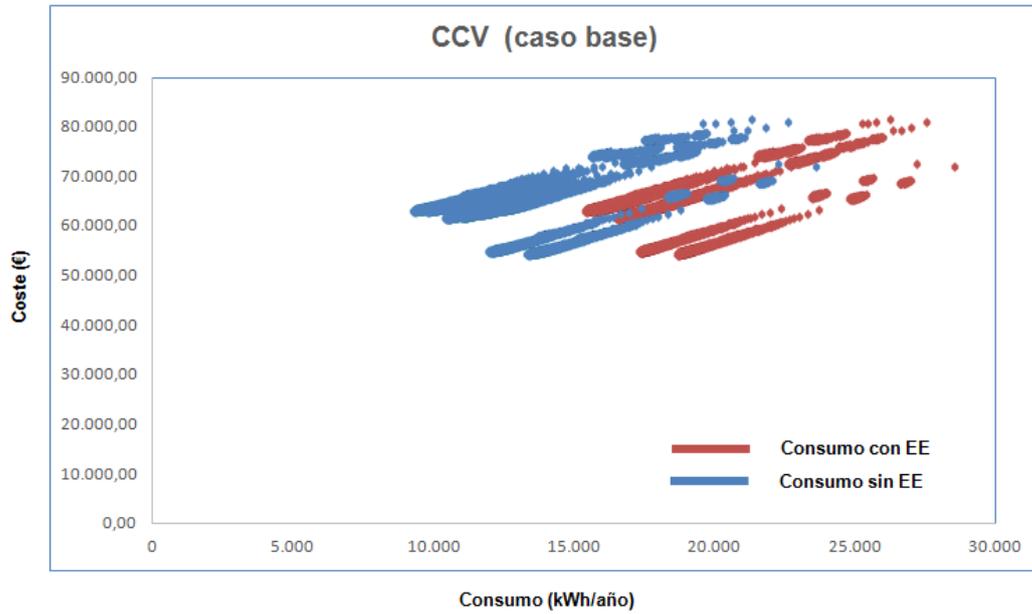


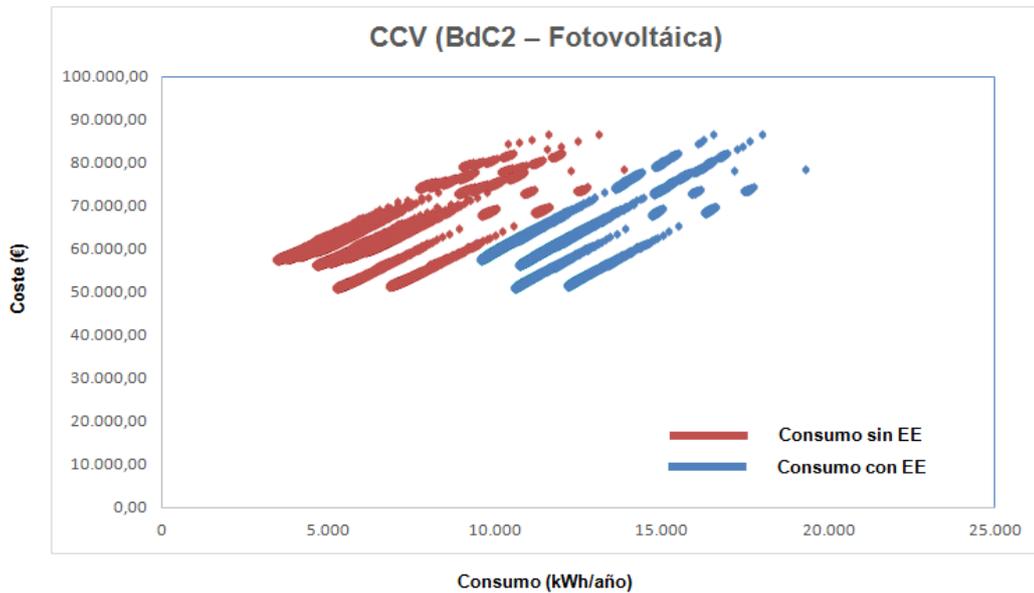
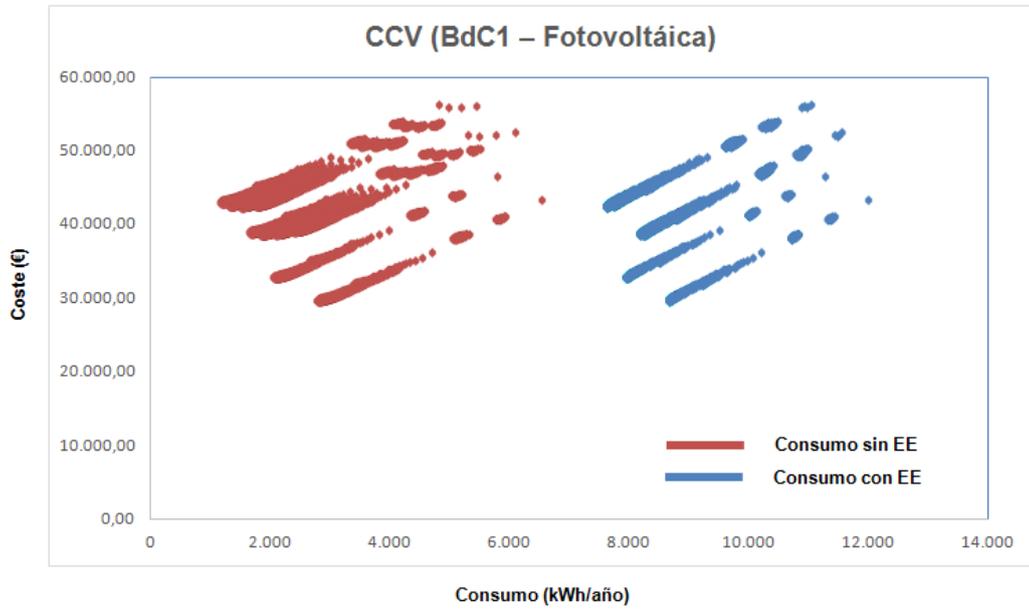
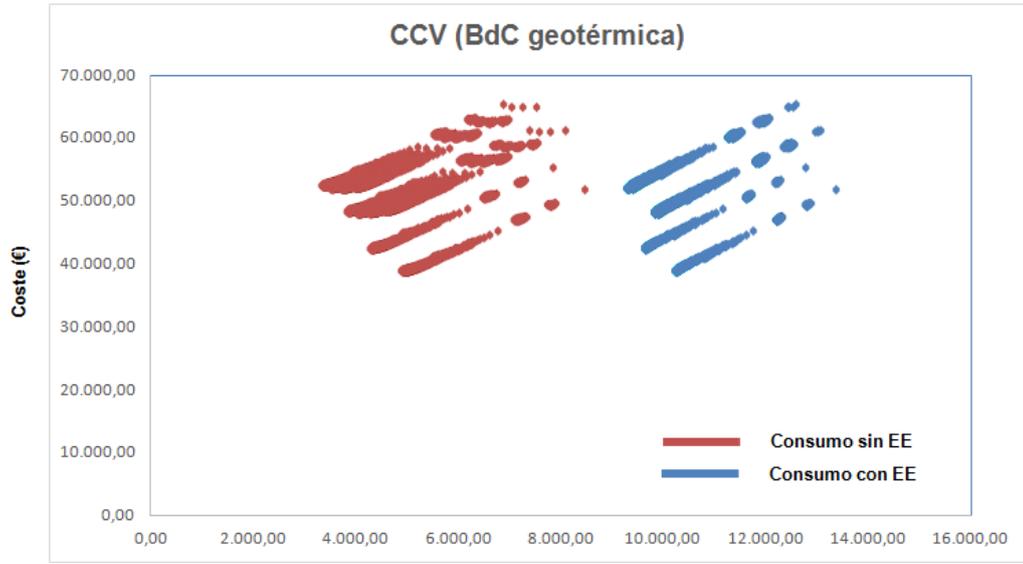




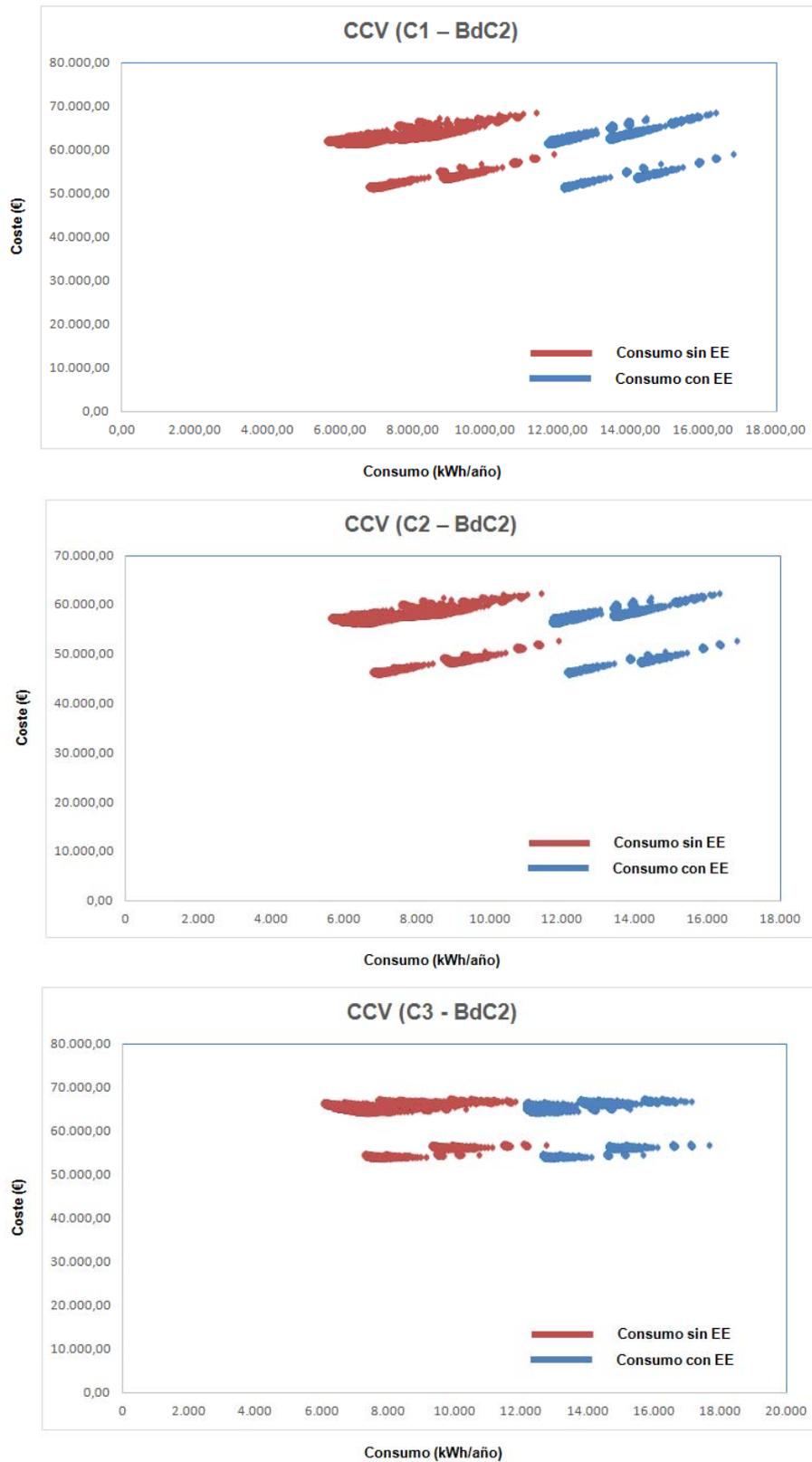
### A.3.2. Caso B - Ubicación en Madrid.

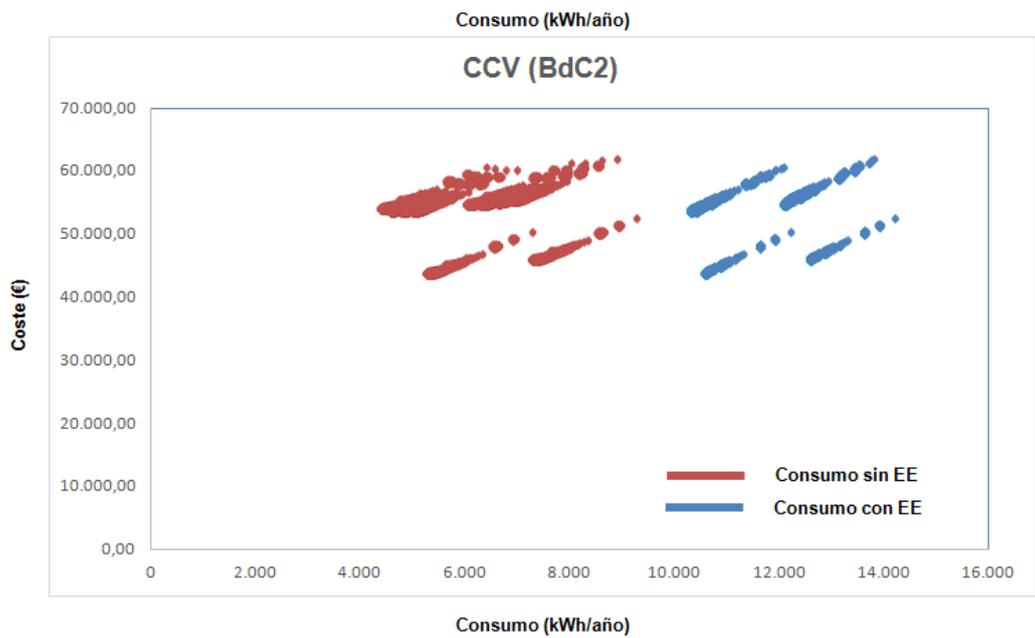
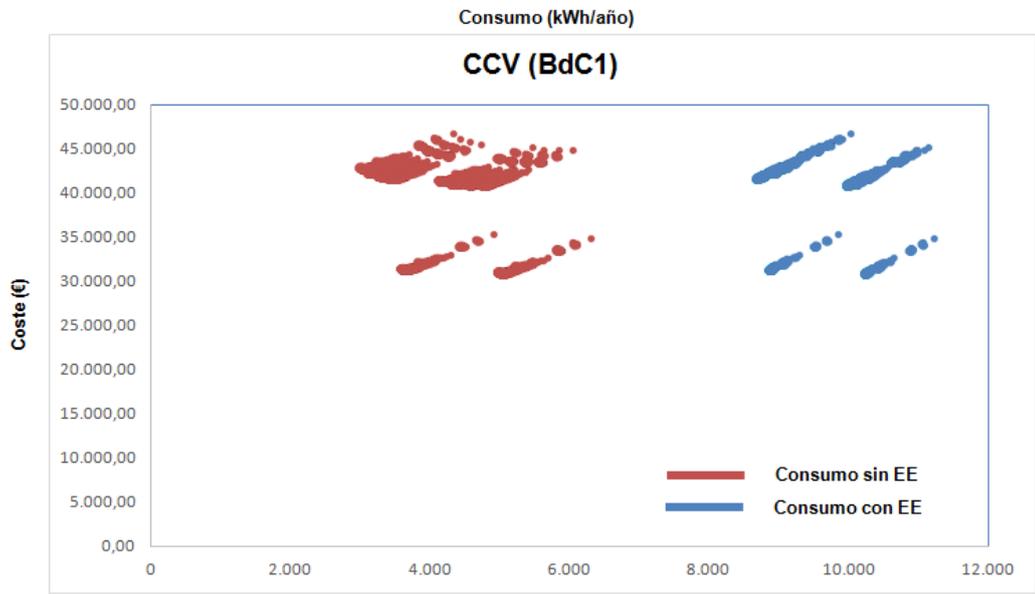
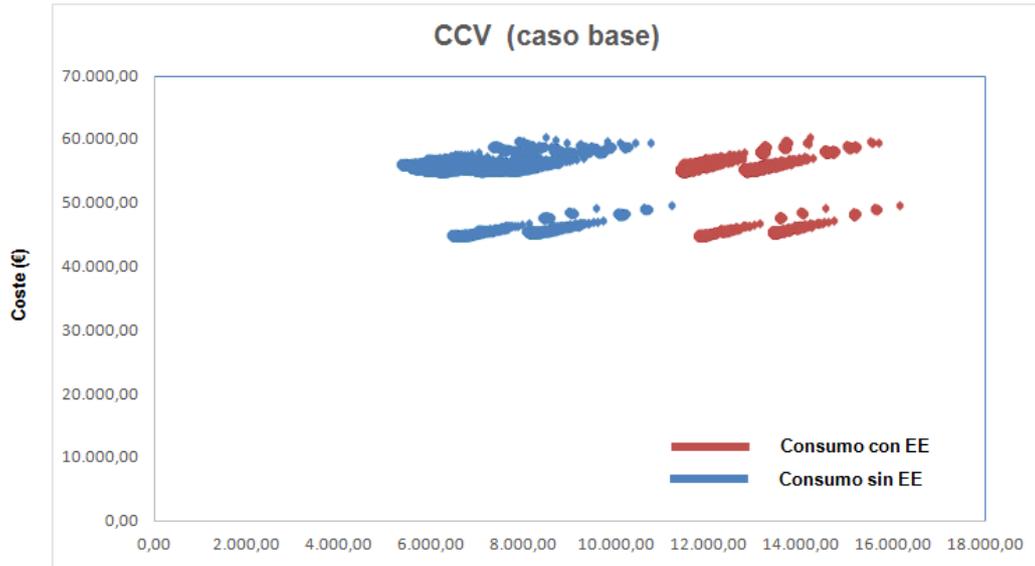


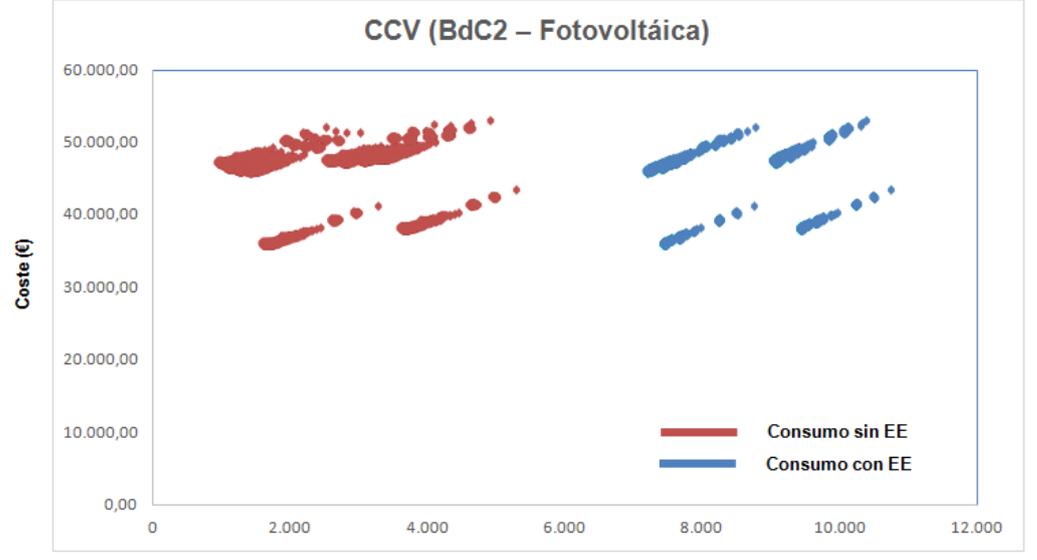
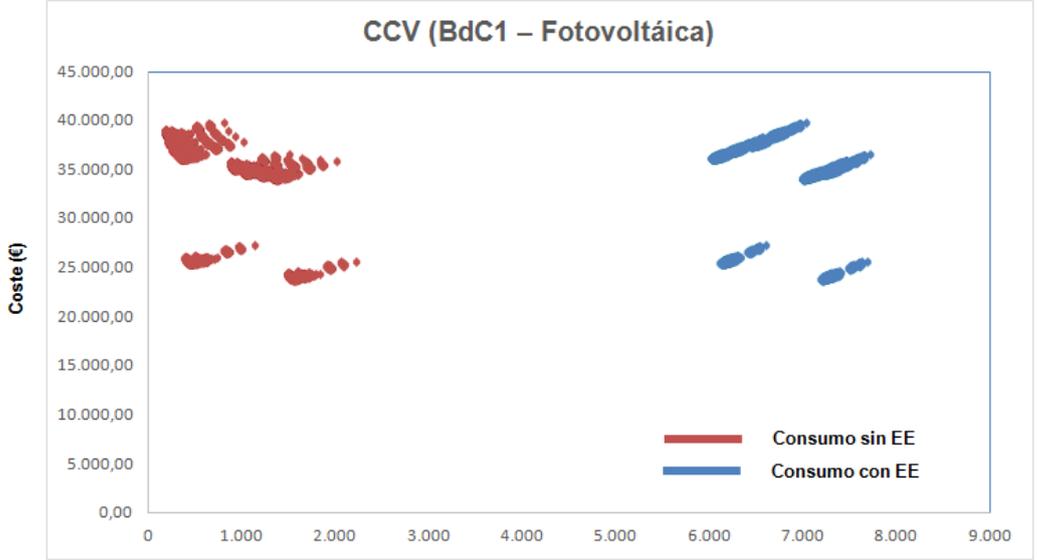
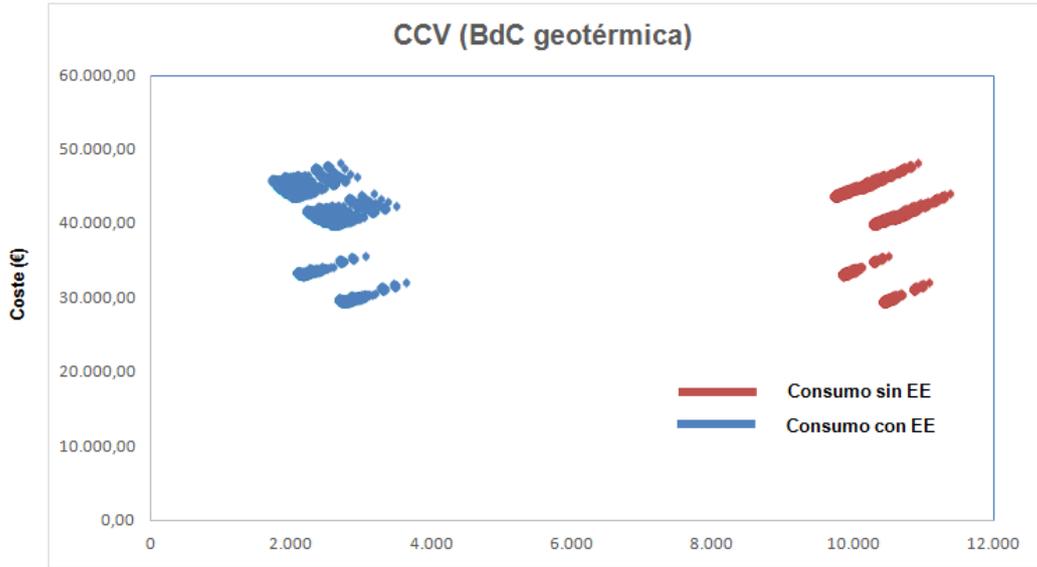




### A.3.3. Caso C - Ubicación en Sevilla.

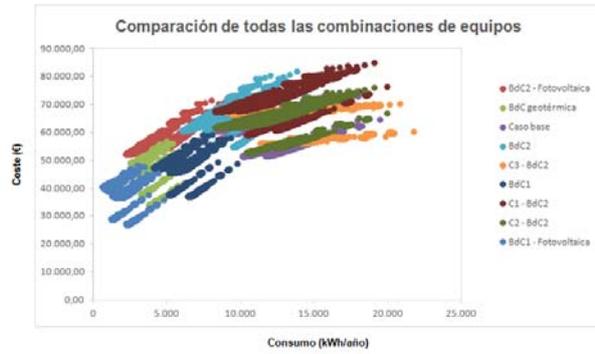




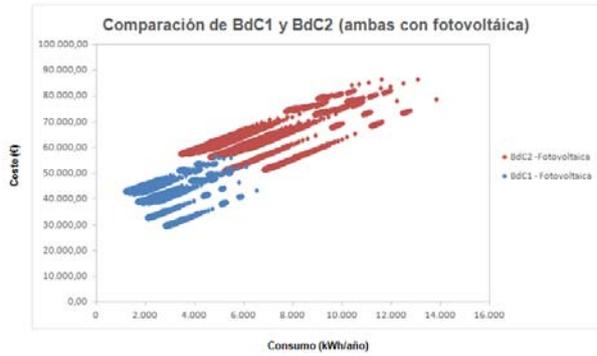
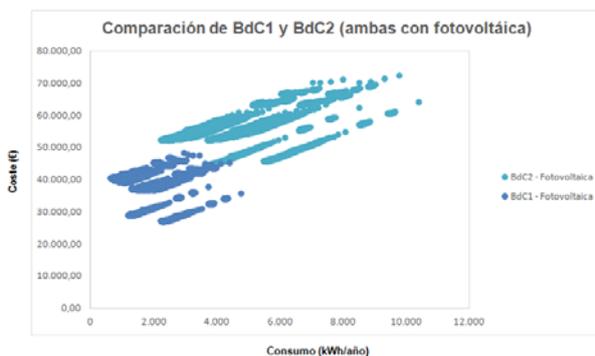
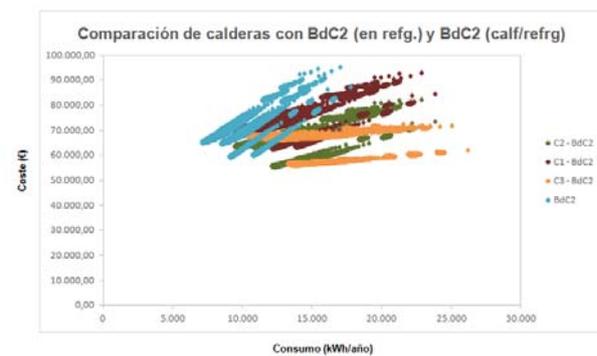
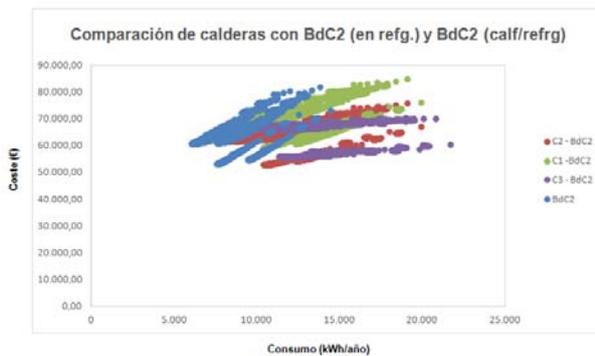
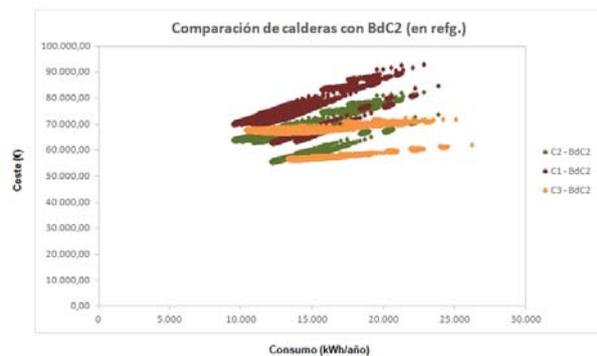
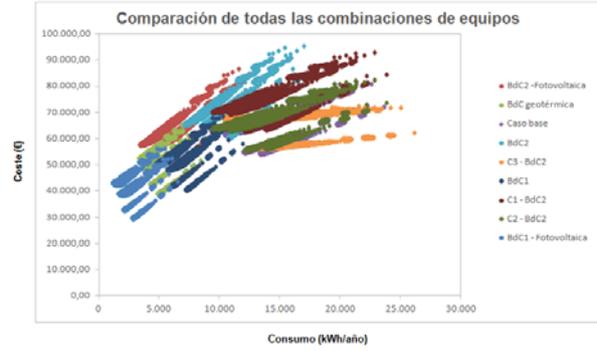


## A.4. Comparación entre las combinaciones propuestas para la ubicación en Granada y las mismas para Madrid.

Caso A. Ubicación en Granada

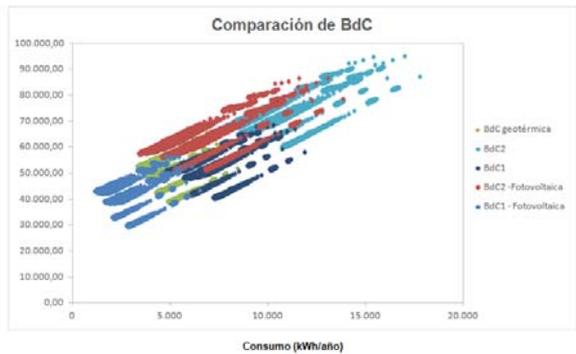
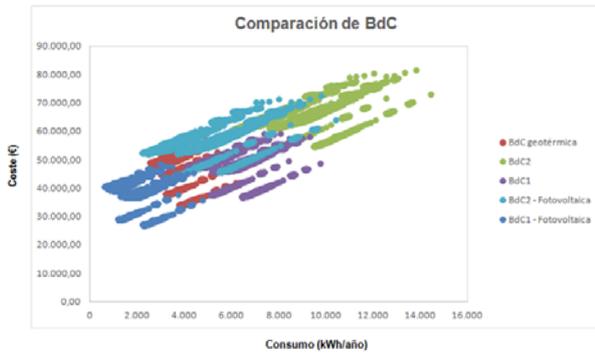
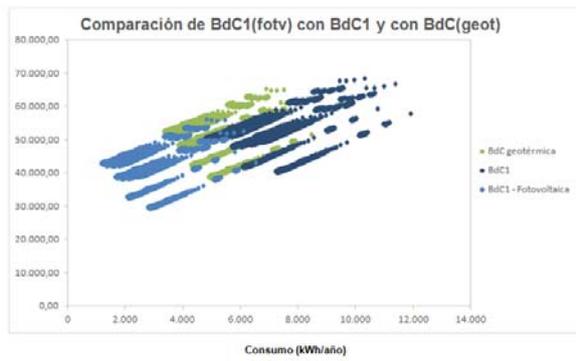
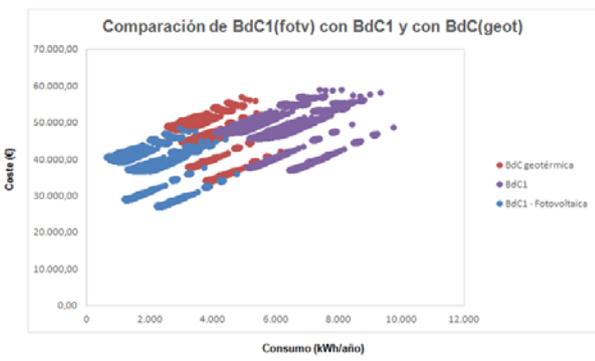
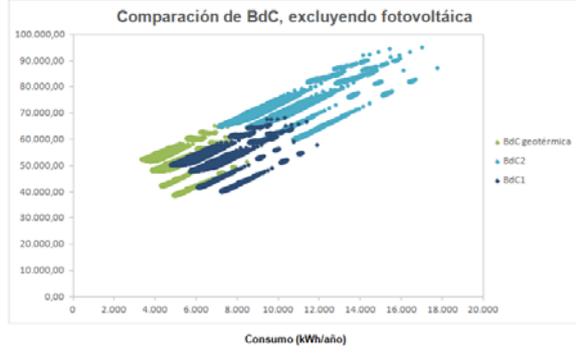
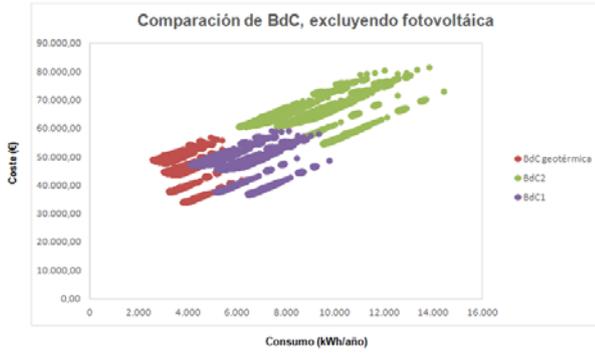


Caso B. Ubicación en Madrid



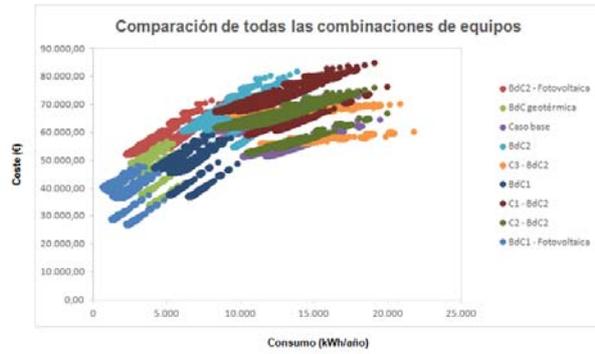
### Caso A. Ubicación en Granada

### Caso B. Ubicación en Madrid

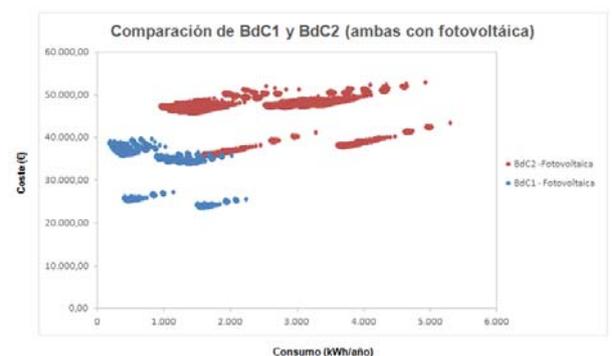
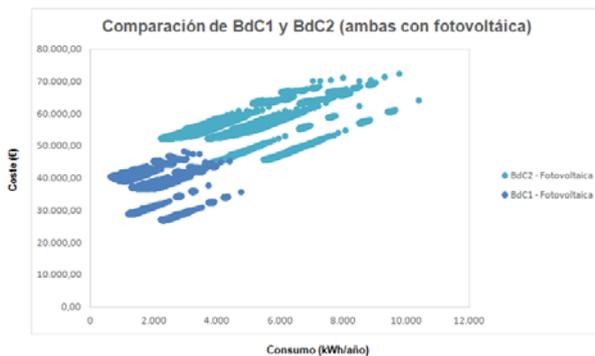
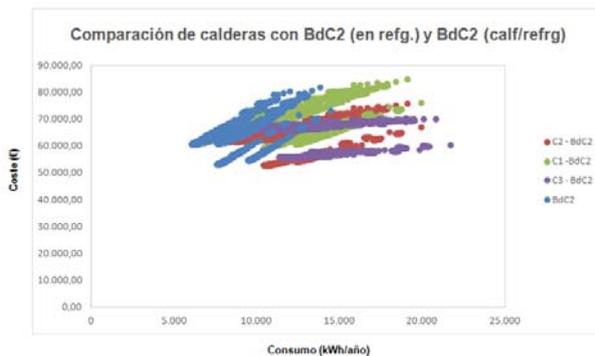
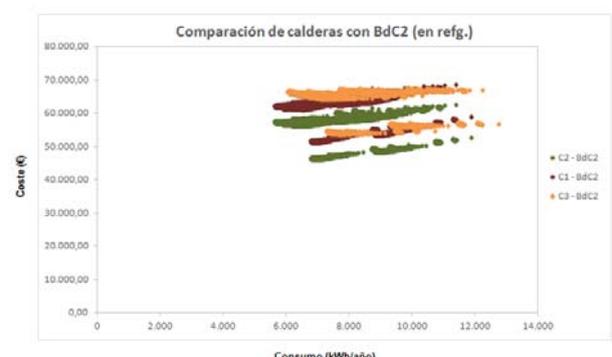
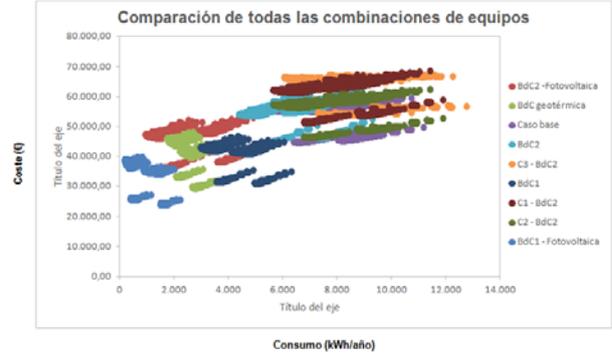


## A.5. Comparación entre las combinaciones propuestas para la ubicación en Granada y las mismas para Sevilla.

Caso A. Ubicación en Granada

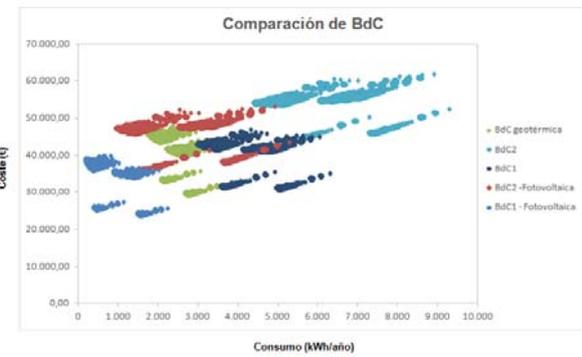
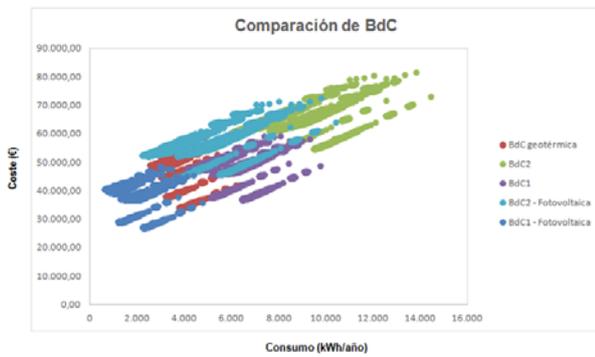
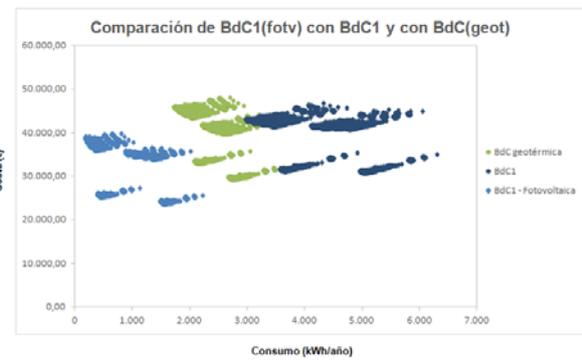
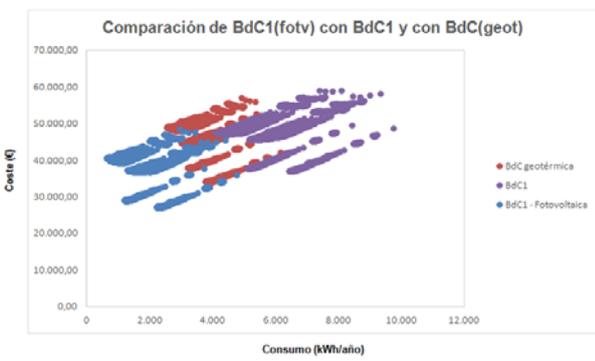
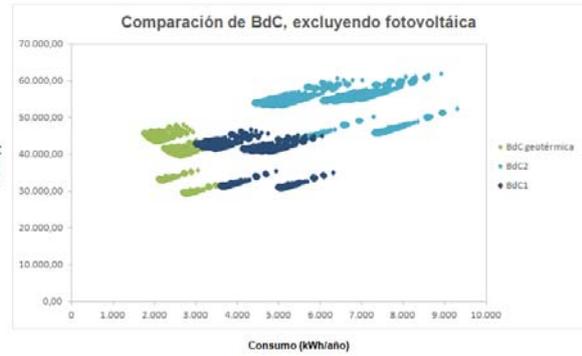
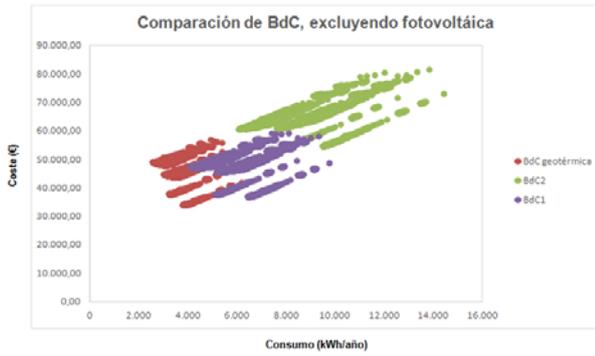


Caso C. Ubicación en Sevilla



### Caso A. Ubicación en Granada

### Caso C. Ubicación en Sevilla



## A.6. Equipos fotovoltaicos.

### A.6.1. Módulo solar fotovoltaico A-250M GSE.

#### Características eléctricas

Potencia Máxima (Pmax)	250 W	255 W	260 W	265 W	270 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	31.31 V	31.57 V	31.80 V	32.08 V	32.31 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	7.99 A	8.08 A	8.18	8.27 A	8.36 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	38.03 V	38.32 V	38.61	38.86 V	39.12 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8.52 A	8.60 A	8.69	8.79 A	8.88 A
Eficiencia del Módulo (%)	15.34	15.65	15.95	16.26	16.57
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5				
Máxima Serie de Fusibles (A)	15				
Máxima Tensión del Sistema	DC 1000 V (IEC) / DC 600 V (UL)				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	46±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m<sup>2</sup>, espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.  
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

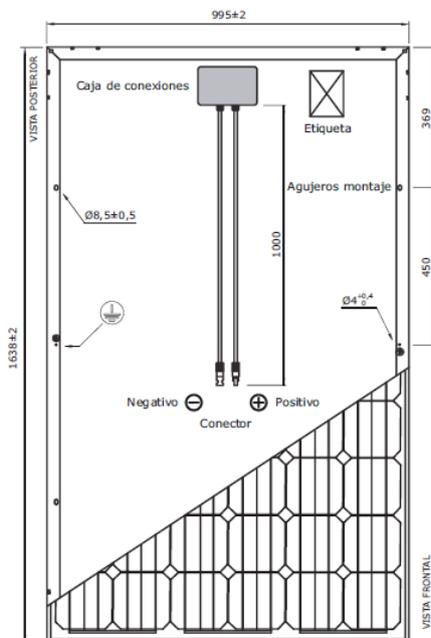
#### Especificaciones mecánicas

Dimensiones (± 2.0 mm.)	1638x995x40 mm.
Peso	18.7 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa

#### Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	60 células (6x10)/Monocristalina/156 x 156 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (protección/nº diodos)	IP65/3 diodos
Cable (longitud/sección) / Conector	1000 mm./4 mm <sup>2</sup> /Compatible MC4

#### Vista genérica construcción módulo



El dibujo no está a escala

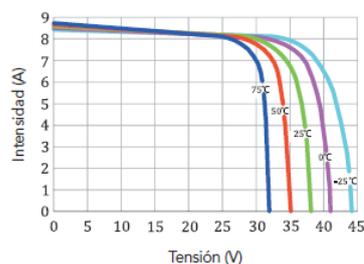
#### Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.09% /°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.32% /°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.41% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 a +85 °C

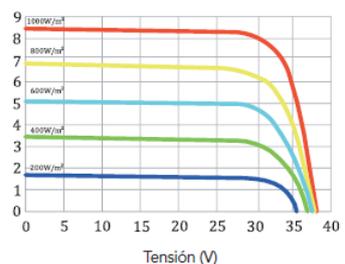
#### Embalaje

Módulos/palé	26 pzas
Palés/contenedor 40'	28 pzas
Módulos/ contenedor 40'	728 pzas

#### Temperatura Varía (A-250M GSE)

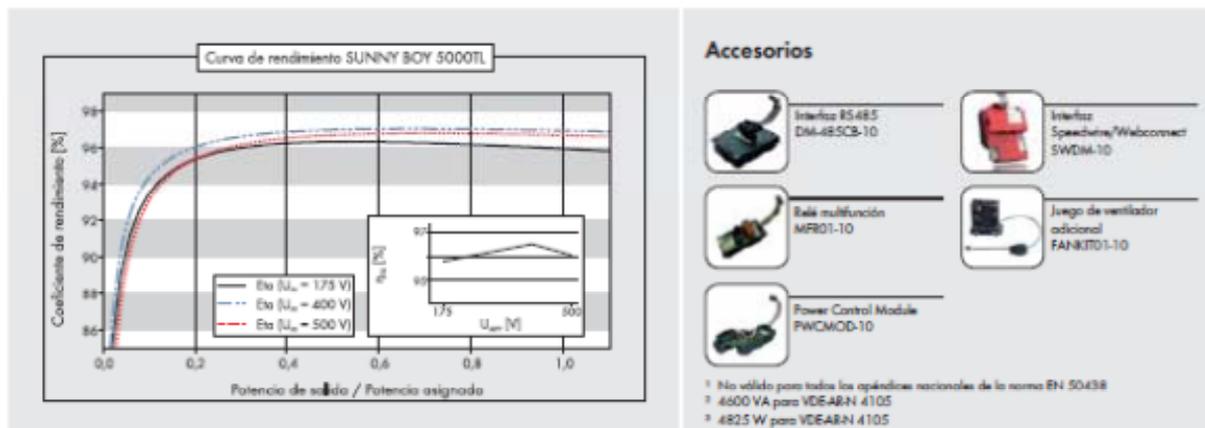


#### Irradiación Varía



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

## A.6.2. Inversor SUNNY BOY 5000TL.



### Accesorios



- <sup>1</sup> No válido para todas las aplicaciones nacionales de la norma EN 50438
- <sup>2</sup> 4600 VA para VDE-ARN 4105
- <sup>3</sup> 4825 W para VDE-ARN 4105

Datos técnicos	Sunny Boy 4000TL	Sunny Boy 5000TL
<b>Entrada (CC)</b>		
Potencia máxima de CC (con cos φ=1)	4200 W	5250 W <sup>1</sup>
Tensión de entrada máx.	750 V	750 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada	175 V - 500 V / 400 V	175 V - 500 V / 400 V
Tensión de entrada mín. / de inicio	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Corriente máx. de entrada (entrada A / B)	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Corriente máx. de entrada por string (entrada A / B)	15 A / 15 A	15 A / 15 A
Número de entradas de punto de máxima potencia (MPP) independientes / strings por entrada de punto de máxima potencia (MPP)	2 / A;2; B:2	2 / A;2; B:2
<b>Salida (CA)</b>		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	4000 W	4600 W
Potencia aparente de CA máxima	4000 VA	5000 VA <sup>2</sup>
Tensión nominal de CA / rango	220 V, 230 V, 240 V / 180 V-280 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V-280 V
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Frecuencia / tensión asignadas de red	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida	22 A	22 A
Factor de potencia a potencia asignada	1	1
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
Fases de inyección / conexión	1 / 1	1 / 1
<b>Rendimiento</b>		
Rendimiento máx. / europeo	97 % / 96,4 %	97 % / 96,5 %
<b>Dispositivos de protección</b>		
Punto de desconexión en el lado de entrada	●	●
Monitorización de toma a tierra / de red	● / ●	● / ●
Protección contra polarización inversa (CC) / resistencia al cortocircuito (CA) / con separación galvánica	● / ● / -	● / ● / -
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●	●
Clase de protección (según IEC 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>Datos generales</b>		
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 in)	490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 in)
Peso	26 kg (57,3 lb)	26 kg (57,3 lb)
Rango de temperatura de servicio	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)
Emissiones de ruido, típicas	25 dB(A)	25 dB(A)
Autoc consumo (nocturno)	1 W	1 W
Topología	Sin transformador	Sin transformador
Sistema de refrigeración	Convección	Convección
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	IP65
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %	100 %
<b>Características</b>		
Conexión de CC / Conexión de CA	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte
Pantalla	Gráfica	Gráfica
Interfaz: RS485 / Bluetooth <sup>®</sup> / Speechline / Webconnect	○ / ● / ○ / ○ / ○	○ / ● / ○ / ○ / ○
Relé multifunción / Power Control Module	○ / ○	○ / ○
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438 <sup>1</sup> , G59/2, G83/1-1, IEC 61727, NRS 097-2-1, PEA, PPC, PFD5, RD1699, RD 661, UTE C15712, VDE-ARN 4105, VDE0126-1-1	
● De serie ○ Opcional - No disponible, Datos en condiciones nominales		
Modelo comercial	SB 4000TL-21	SB 5000TL-21