



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Jaime Alonso Rodríguez

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Julio de 2022



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Jaime Alonso Rodríguez DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: *Eficiencia energética en una centro comercial y ahorro con energías renovables*, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 1 de julio de 2022

ACEPTA

Fdo. ....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON  
ENERGÍAS RENOVABLES

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso  
académico 2021-22 es de mi autoría, original e inédito y no ha  
sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

**ALONSO**  
**RODRIGUE**  
**Z JAIME -**  
**71041624Y**

Firmado digitalmente por  
ALONSO  
RODRIGUEZ JAIME  
- 71041624Y  
Fecha: 2022.06.30  
12:13:48 +02'00'

Fdo.: Fecha: 30 / 6 / 2022



Luis Javier Mata  
2022.07.01  
08:54:15 +02'00'

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:

Fecha: ...../ ...../ .....





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Jaime Alonso Rodríguez

Director: Luis Javier Mata García

Madrid

Julio de 2022



# **EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN CENTRO COMERCIAL Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES**

Autor: Alonso Rodríguez, Jaime.

Director: Mata García, Luis Javier.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

La sociedad actual está sufriendo una crisis energética a nivel mundial, con el precio de la energía siendo varias veces más alta de lo que era hace un par de años debido a la escasez de capacidad de generación eléctrica y la subida del precio de los combustibles fósiles por efectos geopolíticos y financieros. Por ello, es importante recalcar el papel que tiene la autosuficiencia energética, ambos a nivel local (personal, familiar y/o empresarial) y a nivel regional y nacional.

A su vez, se tiene que las fuentes más comunes de energía (combustibles fósiles y energía eléctrica proveniente de la red nacional) son altamente contaminantes debido a sus propiedades fisicoquímicas o debido a las fuentes de energía primaria usadas para generarla, respectivamente. Por ello, hoy en día se fomenta la instalación de capacidad de generación de energías renovables, tales como la energía solar o eólica.

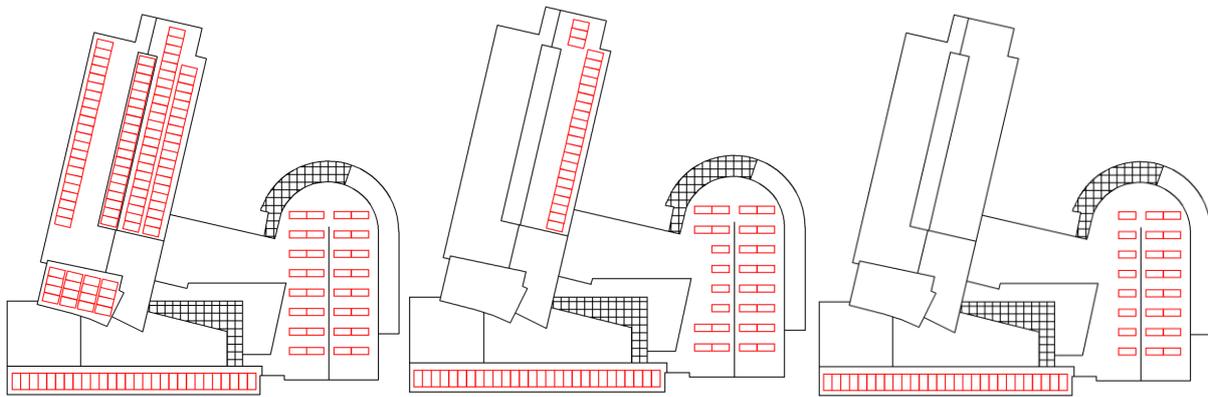
Principalmente, es por estas dos razones que se ha decidido plantear un estudio sobre la eficiencia energética de un centro comercial y su posible mejora mediante instalaciones fotovoltaicas y la sustitución de equipos poco eficientes. Estas mejoras se plantean en base a que son una fuente de ahorro económico para el propietario (gracias al consumo reducido de combustible) y además pueden aumentar el valor del edificio como propiedad inmobiliaria al mejorar la calificación energética del edificio.

La situación energética del edificio en cuestión es deficiente, con calificaciones de eficiencia energética ligeramente por debajo de la media (el sistema de calificaciones energéticas califica las edificaciones en una escala de la A a la G en consumo de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2e</sub>, siendo D la calificación que obtiene la media de los edificios en España; el edificio en cuestión obtuvo calificaciones de D en consumo energético y E en emisiones de CO<sub>2e</sub> en el software CE3X de cálculo de eficiencia energética). Dichas calificaciones son resultantes del hecho de que el edificio requiere una gran cantidad de energía para calefacción (184 kWh/m<sup>2</sup>), sistemas de iluminación donde parte de las luminarias son de tecnología

halógena y calderas de calefacción y ACS de gasóleo-C con rendimientos de combustión en torno al 75% (cuando las calderas modernas portan rendimientos superiores al 90%).

Para mejorar las condiciones energéticas del edificio, se plantean dos series de mejoras: la instalación de paneles fotovoltaicos, con el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica y así reducir el consumo energético general del edificio; y sustituir las calderas antiguas de gasóleo-C con equipos nuevos más eficientes.

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas, el proceso de diseño comienza con el estudio de la cubierta del edificio, donde se encontraron varias superficies aptas para la colocación de paneles solares (basados en la irradiación solar por metro cuadrado). Con estos datos, se idearon tres tipos de instalaciones: la instalación 'A' con 162 paneles y 72,9 kW, la instalación 'B' con 80 paneles y 36 kW y la instalación 'C' con 52 paneles y 23,4 kW.



*Instalaciones fotovoltaicas 'A', 'B' y 'C'*

A continuación, se diseñó los aspectos eléctricos del sistema, escogiendo inversores trifásicos para cada *string* de paneles solares junto con los correspondientes elementos eléctricos de protección. En cuanto al montaje, se escogieron soportes coplanares con varillas roscadas para las cubiertas inclinadas con tejas, ya que el tejado se apoya sobre una capa de aislamiento e impermeabilizante, lo cual imposibilita el uso de salvatejas; para las cubiertas planas, se escogieron soportes de hormigón sin anclaje, ya que no necesitan que se atraviesen el aislamiento y la impermeabilización para poder instalarse, reduciendo la posibilidad de entradas de agua o pérdidas de aislamiento. Los presupuestos se muestran a continuación.

	<i>Instalación 'A'</i>	<i>Instalación 'B'</i>	<i>Instalación 'C'</i>
Presupuesto inicial	109.965,05 €	54.710,82 €	36.848,89 €
Gasto anual adicional	2.000,00 €	1.400,00 €	1.000,00 €

En cuanto a la caldera, se escogió una única caldera ya que las calderas de mayor potencia tienen un nivel de eficiencia mayor que una agrupación de calderas de menor potencia, además de que las calderas son más eficientes cuando no están a plena carga. Por ello y para simplificar la instalación, se decidió usar una caldera de gasóleo-C aprovechando la infraestructura técnica y administrativa existente en el edificio (depósito de combustible, contratos de suministro y de mantenimiento, etc.). Dado que el objetivo es de mejorar la eficiencia energética del edificio, uno de los parámetros fundamentales durante la búsqueda de la caldera es la eficiencia, y la caldera nueva tiene una eficiencia de combustión cercana al 95%, ayudando en gran medida al ahorro energético en el edificio. El presupuesto de reemplazo de calderas se estimó en 13.244,00 euros, sin un aumento en el gasto anual.

Dichas mejoras tienen un claro efecto en la calificación energética del edificio: las instalaciones fotovoltaicas, aunque no pudiesen mejorar la calificación de consumo de energía no renovable de D, mejoraron la calificación de emisiones de E a D, al igual que la sustitución de calderas (aunque esta última mejora consigue mejores ahorros energéticos). Únicamente combinando las instalaciones fotovoltaicas con las nuevas calderas se consigue mejorar la calificación a C en el caso del consumo de energía no renovable; además, únicamente con la combinación de la instalación fotovoltaica 'A' y la sustitución de las calderas se consigue alcanzar una calificación de emisiones de C, el resto de las combinaciones consiguen una calificación de emisiones de D.

Alejándose de los aspectos más técnicos, las mejoras técnicas se plantean como inversiones económicas que puede traer beneficios financieros para el propietario y/o los usuarios. En este caso, la reducción del consumo de energía eléctrica de la red nacional asociada a las instalaciones fotovoltaicas y la disminución del combustible usado por las calderas de calefacción y ACS sirven para ahorrar en gastos de energía eléctrica y de gasóleo-C al propietario del edificio. Dicho ahorro se puede asimilar a un flujo de caja positivo, lo cual permite calcular la rentabilidad económica de las instalaciones como inversiones.

Para calcular la rentabilidad de dichas inversiones, se tuvo en cuenta los tipos de interés de otras inversiones financieras, así como la prima de inflación asociada al incremento del IPC y la prima de riesgo, lo cual permite comparar la rentabilidad de estas instalaciones con otras inversiones financieras a largo plazo. En todos casos, la rentabilidad económica de las instalaciones es muy alta, con valor actual neto (VAN) superando las inversiones iniciales y periodos de recuperación (PR) entre una décima y una quinta parte la vida útil de las

instalaciones correspondientes (25 años para las instalaciones fotovoltaicas basado en instalaciones similares y la garantía de potencia del fabricante de los paneles solares, 10 años para la caldera nueva basado en equipamiento similar).

<i>Instalación</i>	<i>VAN [€]</i>	<i>TIR [%]</i>	<i>PR [años]</i>
Instalación ‘A’	132.734,32	15,48%	8,23
Instalación ‘B’	82.121,13	17,91%	6,97
Instalación ‘C’	56.325,83	18,14%	6,87
Cambio de calderas	96.325,48	271%	1,07

*Resultados del análisis financiero de las instalaciones*

Las instalaciones fotovoltaicas reciben rentabilidades similares a las de otras instalaciones de potencias y emplazamiento comparables, con tasas internas de retorno (TIR) entre 15% y 20% y PR entre los 6 y 10 años y es una inversión recomendada a largo plazo. El cambio de calderas se muestra como una opción con una altísima rentabilidad, dada la muy baja eficiencia de las calderas antiguas y el alto precio de los combustibles fósiles en la actualidad (se realizó una serie de pruebas de sensibilidad de la rentabilidad de la instalación al precio del gasóleo-C, descubriéndose la sensibilidad inesperada de las funciones financieras a las inversiones con PR cercanas o inferiores a un año), lo cual hace de esta mejora técnica una inversión que se podría categorizar de increíble, con TIR de más del 250% y un VAN de ocho veces la inversión inicial, lo cual hace que la inversión en una nueva caldera más eficiente se recupere en un año escaso.

Finalmente, todas las instalaciones planteadas conllevan ciertos beneficios medioambientales, gracias a la reducción en las emisiones de gases nocivos y de efecto invernadero, gracias a la reducción del consumo energético; durante su vida útil, las instalaciones fotovoltaicas reducen las emisiones por 715.271, 416.661, 286.018 kgCO<sub>2</sub> (aunque se debería tener en cuenta cualitativamente el impacto ambiental de la fabricación y reciclaje de los paneles fotovoltaicos), mientras que la sustitución de las calderas reduce las emisiones por 253.860 kgCO<sub>2</sub> durante su vida útil.

En resumen, las instalaciones fotovoltaicas y la instalación de equipos técnicos más eficientes se plantean como una manera económicamente acertada y medioambientalmente saludable de reducir la dependencia energética. A lo largo de este estudio, se ha demostrado que ambas medidas son técnicamente viables, económicamente ventajosas y ambientalmente racionales.

**PALABRAS CLAVE:** solar, emisiones, fotovoltaica, autoconsumo, eficiencia, ahorro

# **ENERGETIC EFFICIENCY IN A SHOPPING MALL AND SAVINGS USING RENEWABLE ENERGIES**

Author: Alonso Rodríguez, Jaime.

Supervisor: Mata García, Luis Javier.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## **PROJECT SUMMARY**

Today's society is undergoing an energy crisis on a global scale, with the price of energy rising to multiple times what it was a couple years ago due to the shortage of electricity generation capacity and the rise in the price of fossil fuels due to geopolitical and economic effects. Therefore, it is important to emphasize the role of energy self-sufficiency, both at the local (personal, family and/or business level) and at the regional and national level.

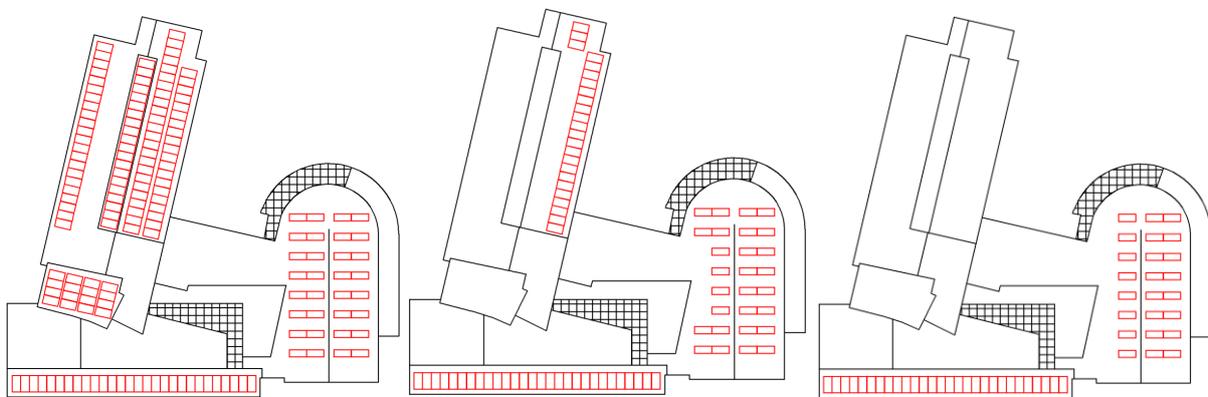
In turn, the most common sources of energy (fossil fuels and electricity from the national grid) are highly polluting due to their physicochemical properties or due to the primary energy sources used to generate them, respectively. For this reason, currently the installation of renewable energy generation capacity, such as solar or wind energy, is heavily encouraged.

Mainly, it is for these two reasons that a study on the energy efficiency of a shopping center and its possible improvement through photovoltaic installations and the replacement of inefficient equipment is to be carried out. These improvements are proposed on the basis that they are a source of economic savings for the owner (thanks to reduced heating fuel consumption) and can also increase the value of the building as a real estate investment by improving the building's energy rating.

The energy situation of the building in question is poor, with energy efficiency ratings slightly below average (the energy rating system rates buildings on a scale from A to G for non-renewable primary energy consumption and CO<sub>2e</sub> emissions, where D is the rating obtained on average by buildings in Spain; the building in question obtained ratings of D in energy consumption and E in CO<sub>2e</sub> emissions in the energy efficiency calculation software CE3X). These ratings are the result of the fact that the building requires a large amount of energy for heating (184 kWh/m<sup>2</sup>), lighting systems where part of the lighting fixtures are fitted with halogen bulbs, and heating and hot water boilers with heating oil as fuel have a combustion efficiency of around 75% (when modern boilers carry yields greater than 90%).

To improve the energy conditions of the building, two sets of improvements are proposed: the installation of photovoltaic panels, with the aim of reducing the consumption of electrical energy and thus reducing the general energy consumption of the building; and replace the old heating oil boilers with new, more efficient equipment.

Regarding the photovoltaic installations, the design process begins with the study of the roof of the building, where several surfaces suitable for the placement of solar panels (based on solar irradiation per square meter) were found. With these data, three types of installations were devised: installation 'A' with 162 panels and 72.9 kW, installation 'B' with 80 panels and 36 kW, and installation 'C' with 52 panels and 23.4 kW.



*Photovoltaic installations 'A', 'B', and 'C'*

Next, the electrical aspects of the system were designed, choosing three-phase inverters for each string of solar panels together with the corresponding electrical protection elements. Regarding the attachments, coplanar supports with threaded rods were chosen for the sloping roofs with tiles, since the roof rests on an insulating and waterproofing layer, which makes it impossible to use roof tile anchors; for the flat roofs, concrete supports without anchoring were chosen, since they do not require the insulation and waterproofing to be broken in order to be installed, reducing the possibility of water ingress or loss of insulation. Budgets are shown below.

	<i>Installation 'A'</i>	<i>Installation 'B'</i>	<i>Installation 'C'</i>
Initial budget	109.965,05 €	54.710,82 €	36.848,89 €
Additional yearly expenses	2.000,00 €	1.400,00 €	1.000,00 €

As for the boiler, a single boiler was chosen since the higher power boilers have a higher level of efficiency than a group of lower power boilers, in addition to the fact that the boilers are

more efficient when they are not at full load. For this reason and to simplify the installation, it was decided to use one heating oil boiler taking advantage of the existing technical and administrative infrastructure in the building (fuel tank, supply and maintenance contracts, etc.). Since the objective is to improve the energy efficiency of the building, one of the fundamental parameters during the search for the boiler is energy efficiency, and the new boiler has a combustion efficiency close to 95%, greatly helping to save energy in the building. The boiler replacement budget was estimated at 13,244.00 euros, without an increase in annual spending.

These improvement measures have a clear effect on the building's energy rating: the photovoltaic installations, although they could not improve the non-renewable energy consumption rating from D, improved the emissions rating from E to D, as did the replacement of boilers (although this last measure achieves higher energy savings). Only by combining the photovoltaic installations with the new boilers is it possible to improve the rating to C in the case of non-renewable energy consumption; in addition, only with the combination of the photovoltaic installation 'A' and the replacement of the boilers is it possible to achieve an emissions rating of C, the rest of the combinations achieve an emissions rating of D.

Moving away from the more technical aspects, technical improvements are considered as economic investments that can bring financial benefits to the owner and/or users. In this case, the reduction in electricity consumption from the national grid associated with photovoltaic installations and the decrease in heating oil used by the heating and hot water boilers serve to save on electricity and diesel-C costs for the building owner. This saving can be assimilated to a positive cash flow, which allows calculating the economic profitability of the facilities as investments.

To calculate the profitability of these investments, the interest rates of other financial investments were taken into account, as well as the inflation premium associated with the increase in the CPI and the risk premium, which allows the profitability of these facilities to be compared with other long term financial investments. In all cases, the economic profitability of the installations is very high, with net present value (NPV) exceeding the initial investments and payback periods (PP) between one tenth and one fifth of the lifespan of the corresponding installations (25 years for photovoltaic installations based on similar installations and the power guarantee of the solar panel manufacturer, 10 years for the new boiler based on similar equipment).

<i>Installation</i>	<i>NPV [€]</i>	<i>IRR [%]</i>	<i>PP [years]</i>
Installation 'A'	132.734,32	15,48%	8,23
Installation 'B'	82.121,13	17,91%	6,97
Installation 'C'	56.325,83	18,14%	6,87
Boiler replacement	96.325,48	271%	1,07

*Results from the installations' financial analysis*

Photovoltaic installations receive returns similar to those of other installations of comparable power and location, with internal rates of return (IRR) between 15% and 20% and PP between 6 and 10 years and are a recommended long-term investment. The change of boilers is shown as an option with very high profitability, given the very low efficiency of the old boilers and the high price of fossil fuels today (a series of sensitivity tests were carried out on the profitability of the installation to the price of heating oil, discovering the unexpected sensitivity of the financial functions to investments with PP close to or less than one year), which makes this technical improvement an investment that could be categorized as incredible, with an IRR of more than 250% and a NPV of eight times the initial investment, which means that the investment in a new, more efficient boiler is recovered in a short year.

Finally, all the facilities proposed entail certain environmental benefits, thanks to the reduction in emissions of harmful gases and the greenhouse effect, thanks to the reduction in energy consumption; During their lifespan, photovoltaic installations reduce emissions by 715.271, 416.661, 286.018 kgCO<sub>2</sub> (although the environmental impact of manufacturing and recycling photovoltaic panels should be taken into account in a qualitative manner), while the replacement of boilers reduces emissions by 253.860 kgCO<sub>2</sub> during its lifespan.

In short, photovoltaic installations and the installation of more efficient equipment are seen as an economically sane and environmentally healthy way of reducing energy dependence. Throughout this study, both measures have been shown to be technically feasible, economically advantageous and environmentally sound.

**KEYWORDS:** solar, emissions, photovoltaic, self-consumption, efficiency, savings

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Progresión del consumo energético del sector residencial según fuente final de energía. Fuente: MITE22 .....	11
Ilustración 2. Mapa de potencial de producción fotovoltaica e irradiación global en Europa. Fuente: HULD12 .....	19
Ilustración 3. Ejemplo de curvas I-V y P-V de un panel solar. Fuente: HASH16.....	22
Ilustración 4. Azimut de un panel solar. Fuente: IDAE11 .....	24
Ilustración 5. Ángulo de inclinación de un panel solar. Fuente: IDAE11 .....	24
Ilustración 6. Diagrama de trayectorias del sol en la Península Ibérica con patrón de sombra de ejemplo. Fuente: IDAE11 .....	25
Ilustración 7. Diagrama de posición de módulos contiguos y obstáculos horizontales. Fuente: IDAE11 .....	26
Ilustración 8. Boceto de la cubierta del edificio. Adaptado de planos provistos por el Director del TFG .....	29
Ilustración 9. Calificación energética previa del edificio. Fuente: elaboración propia mediante CE3X.....	30
Ilustración 10. Indicadores secundarios de emisiones de CO <sub>2</sub> . Fuente: elaboración propia mediante CE3X.....	31
Ilustración 11. Indicadores secundarios de consumo de energía primaria no renovable. Fuente: elaboración propia mediante CE3X.....	31
Ilustración 12. Calificación de la demanda de calefacción y refrigeración del edificio. Fuente: elaboración propia mediante CE3X .....	32
Ilustración 13. Disposición de las zonas de la cubierta. Adaptado de planos provistos por el Director del TFG.....	34
Ilustración 14. Cubiertas de evacuación del edificio. ....	35
Ilustración 15. Tejados del edificio.....	36
Ilustración 16. Instalación máxima de paneles solares ‘A’ .....	39
Ilustración 17. Instalación reducida de 36kW ‘B’ .....	40
Ilustración 18. Instalación reducida de 23,4kW ‘C’ .....	40

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Equivalencias entre el índice C y la calificación energética.....	18
Tabla 2. Intensidad energética de los tejados según PVGIS.....	37
Tabla 3. Resumen de características de las instalaciones posibles .....	43
Tabla 4. Resultados de calificación energética de las instalaciones fotovoltaicas .....	43
Tabla 5. Resultados globales de recalificación por reemplazo de caldera.....	44
Tabla 6. Resultados de calefacción de calificación por reemplazo de caldera .....	44
Tabla 7. Resultados de ACS de calificación por reemplazo de caldera.....	44
Tabla 8. Resultados globales de recalificación por reemplazo de caldera e instalaciones fotovoltaicas.....	45
Tabla 9. Presupuestos iniciales de las instalaciones .....	47
Tabla 10. Costes recurrentes iniciales planeados de las instalaciones.....	48
Tabla 11. Producción energética anual base de instalaciones fotovoltaicas .....	49
Tabla 12. Producción energética anual por instalación con reducción de rendimiento.....	50
Tabla 13. Ahorro económico anual bruto por instalación con revalorización por variación del IPC .....	54
Tabla 14. Ahorro económico anual neto por instalación con revalorización por variación del IPC .....	54
Tabla 15. Resumen de las características económicas de las instalaciones fotovoltaicas .....	55
Tabla 16. Ahorro económico anual por cambio de calderas.....	56
Tabla 17. Resumen de las características económicas del cambio de caldera de gasóleo-C...56	
Tabla 18. Indicadores económicos anuales para distintos precios de combustible .....	56
Tabla 19. Resumen de las características económicas del cambio de caldera de gasóleo-C, periodos mensuales .....	57
Tabla 20. Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por instalaciones fotovoltaicas .....	60

## **LISTADO DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Pérdidas energéticas de una instalación solar. Fuente: IDAE11 .....	25
Ecuación 2. Distancia mínima de los paneles solares a obstáculos con sombra. Fuente: IDAE11 .....	26
Ecuación 3. Rendimiento medio estacional de una caldera por método indirecto. Fuente: IDAE07 .....	51
Ecuación 4. Fórmula del tipo de descuento .....	52
Ecuación 5. Fórmula del VAN.....	52
Ecuación 6. Tantos equivalentes mensuales para tipos de interés compuestos .....	57



## ÍNDICE DEL PROYECTO

<b>DOCUMENTO I: MEMORIA .....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>11</b>
Subcapítulo 1.1. Introducción .....	11
Subcapítulo 1.2. Motivación del proyecto .....	12
Subcapítulo 1.3. Objetivos del proyecto .....	13
Subcapítulo 1.4. Metodología de trabajo .....	13
<b>Capítulo 2. Estado del arte.....</b>	<b>15</b>
Subcapítulo 2.1. Eficiencia energética en edificios.....	15
2.1.1. Marco legal de calificación de eficiencia energética.....	15
2.1.2. Procedimiento de calificación de eficiencia energética .....	16
Subcapítulo 2.2. Energía solar.....	19
2.2.1. Tipos de aprovechamiento solar para autoabastecimiento .....	19
2.2.2. Sistemas fotovoltaicos para autoabastecimiento .....	20
2.2.3. Marco legal de autoabastecimiento fotovoltaico.....	26
<b>Capítulo 3. Estado actual del edificio.....</b>	<b>29</b>
Subcapítulo 3.1. Descripción del edificio .....	29
Subcapítulo 3.2. Situación energética del edificio .....	30
3.2.1. Descripción de las instalaciones técnicas .....	30
3.2.2. Calificación energética del edificio.....	30
<b>Capítulo 4. Análisis de posibles mejoras .....</b>	<b>33</b>
Subcapítulo 4.1. Instalaciones fotovoltaicas .....	33
4.1.1. Consideraciones previas.....	33
4.1.2. Estudio de la cubierta del edificio .....	33
4.1.3. Cálculo de posibilidades de producción.....	37
4.1.4. Disposición posible de los paneles por cubierta .....	38
Subcapítulo 4.2. Sustitución de equipos existentes.....	40
4.2.1. Instalación de caldera de gasóleo más eficiente .....	41
Subcapítulo 4.3. Mejoras no analizadas .....	41

<b>Capítulo 5. Recalificación energética.....</b>	<b>43</b>
Subcapítulo 5.1. Instalaciones fotovoltaicas .....	43
Subcapítulo 5.2. Sustitución de caldera .....	44
Subcapítulo 5.3. Medidas conjuntas.....	45
<b>Capítulo 6. Estudio económico .....</b>	<b>47</b>
Subcapítulo 6.1. Presupuesto y costes recurrentes .....	47
6.1.1. Presupuestos .....	47
6.1.2. Gastos recurrentes.....	48
Subcapítulo 6.2. Producción y ahorro energético .....	49
6.2.1. Instalaciones fotovoltaicas.....	49
6.2.2. Sustitución de caldera de gasóleo-C.....	50
Subcapítulo 6.3. Cálculo de ahorro económico.....	52
6.3.1. Consideraciones previas.....	52
6.3.2. Instalaciones fotovoltaicas.....	53
6.3.3. Sustitución de calderas de gasóleo-C.....	55
<b>Capítulo 7. Impacto ambiental.....</b>	<b>59</b>
Subcapítulo 7.1. Instalaciones fotovoltaicas .....	59
Subcapítulo 7.2. Sustitución de calderas .....	61
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo 9. Anejos .....</b>	<b>65</b>
Anejo I. Objetivos de desarrollo sostenible .....	65
Anejo II. Seguridad y salud.....	67
Subanejo II.1. Consideraciones previas .....	67
Subanejo II.2. Estudio básico de seguridad y salud .....	68
Anejo III. Capacidad de producción en cubiertas y tejados .....	71
Subanejo III.1. Cubiertas de evacuación, datos de PVGIS.....	71
Subanejo III.2. Tejados, datos de PVGIS.....	71
Anejo IV. Fichas técnicas .....	73
Subanejo IV.1. Fichas técnicas de sistemas fotovoltaicos .....	73
Subanejo IV.2. Ficha técnica de calderas de gasóleo-C .....	77
<b>DOCUMENTO II: PLANOS.....</b>	<b>81</b>
<b>Listado de planos.....</b>	<b>83</b>

<b>DOCUMENTO III: PRESUPUESTOS .....</b>	<b>89</b>
<b>Capítulo 1. Precios unitarios .....</b>	<b>91</b>
Subcapítulo 1.1. Sistema fotovoltaico.....	91
1.1.1. Elementos eléctricos .....	91
1.1.2. Elementos mecánicos.....	92
Subcapítulo 1.2. Caldera de gasóleo-C .....	92
<b>Capítulo 2. Sumas parciales.....</b>	<b>93</b>
Subcapítulo 2.1. Tejado (a) .....	93
2.1.1. Instalación 'A' .....	93
Subcapítulo 2.2. Tejado (b).....	94
2.2.1. Instalación 'A' .....	94
2.2.2. Instalación 'B' .....	95
Subcapítulo 2.3. Tejado (c) .....	96
2.3.1. Instalación 'A' .....	96
Subcapítulo 2.4. Tejado (d).....	97
2.4.1. Instalación 'A' .....	97
Subcapítulo 2.5. Tejado (f).....	98
2.5.1. Instalaciones 'A', 'B' y 'C'.....	98
Subcapítulo 2.6. Cubierta (d) .....	99
2.6.1. Instalación 'A' .....	99
2.6.2. Instalación 'B' .....	100
2.6.3. Instalación 'C' .....	101
Subcapítulo 2.7. Instalación eléctrica común.....	102
Subcapítulo 2.8. Caldera de gasóleo-C .....	102
<b>Capítulo 3. Presupuestos generales .....</b>	<b>103</b>
Subcapítulo 3.1. Instalaciones fotovoltaicas .....	103
3.1.1. Instalación 'A' .....	103
3.1.2. Instalación 'B' .....	103
3.1.3. Instalación 'C' .....	104
Subcapítulo 3.2. Sustitución de caldera gasóleo-C .....	104



# **DOCUMENTO I:**

# **MEMORIA**



# Capítulo 1. Introducción

## Subcapítulo 1.1. Introducción

La energía es uno de los temas actuales más importantes en esta sociedad moderna: de los casi innumerables conflictos geopolíticos internacionales causados por el acceso a combustibles fósiles a la subida de precios actual de la energía eléctrica y los carburantes que perjudican la vida diaria de cientos de millones de consumidores, pasando por los grandes problemas medioambientales derivados de su extracción, conversión y utilización, la energía es un pilar central del mundo actual tanto en su valor como recurso como en los problemas que acarrea.

A pequeña y mediana escala, uno de los problemas más importantes derivados de la energía son su precio y la contaminación asociada con su uso, en particular en cuanto se refiere a la energía eléctrica ya que cada vez los consumidores usan más energía eléctrica que combustibles como fuente energética (MITE22) debido a la electrificación de elementos como la movilidad (ej. vehículos eléctricos).

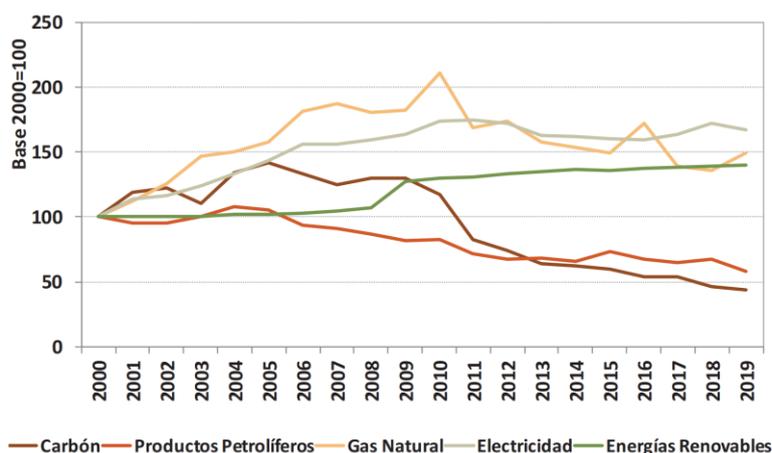


Ilustración 1. Progresión del consumo energético del sector residencial según fuente final de energía. Fuente: MITE22

Una de las soluciones planteadas ante este problema es la instalación de tecnologías de energías renovables por parte de los propios consumidores, la cual se puede observar en la Ilustración 1 está en crecimiento. Dichas tecnologías permiten reducir la contaminación asociada con la producción de energía, así como reducir el impacto económico del consumo de energía ya que parte pasa a ser producida *in situ*. La energía solar fotovoltaica es una de las energías más

utilizadas por los consumidores en cuanto a la autoproducción de electricidad debido a su fácil instalación sobre casi cualquier superficie arquitectónica horizontal y el poco mantenimiento requerido en comparación con otras tecnologías renovables como la eólica.

La instalación de tecnologías de energías renovables de autoconsumo también trae beneficios al propietario a largo plazo: la mejora de la calificación energética de un edificio, lo cual se puede conseguir mediante la instalación de capacidad de producción de energía renovable, consigue revalorizar el edificio con aumentos del valor de hasta más del cuatro por ciento por cada subida de categoría energética en ciertos mercados (MUDG13). A su vez, ciertas municipalidades permiten una reducción del Impuesto de Bienes Inmuebles (IBI) al instalar tecnologías renovables o al mejorar la calificación energética del inmueble. Por ello, para favorecer la instalación de tecnologías de energías renovables se debe pensar no solo como una manera de ahorrar en la factura eléctrica y reducir las emisiones contaminantes hacia el medioambiente, sino también como una inversión económica a largo plazo de la que se puede aprovechar el propio usuario y/o propietario.

## *Subcapítulo 1.2. Motivación del proyecto*

La energía fotovoltaica como forma de autogeneración eléctrica está en pleno auge, con poca capacidad instalada hoy en día (dado que la gran mayoría de los sistemas solares en edificaciones residenciales y del sector terciario son sistemas térmicos de agua corriente sanitaria (ACS)) pero que se encuentra en el alza año tras año (MITE22). A largo plazo es una de las formas más económicas (gracias a su bajo coste de mantenimiento y amortización mediante la venta de energía sobrante) y versátiles (gracias a su capacidad de ser instalada en casi cualquier edificio) de reducir las emisiones medioambientales y reducir la dependencia de la energía proveniente de la red eléctrica, la cual se genera en más de un cuarenta por ciento mediante combustibles fósiles (MITE22) y acarrea actualmente un alto coste económico por unidad energética.

También es importante destacar el papel de estas instalaciones en cuanto a la mejora de la calificación energética de las edificaciones en cuestión, lo cual ayuda a amortizar aún más la instalación mediante la revalorización de la edificación y la reducción de impuestos y también permite plantearla como una inversión económica y medioambiental.

Por ende, es importante demostrar los beneficios que dicho tipo de instalaciones puede traer tanto para el propietario (sobre todo en forma de ahorro económico y beneficios financieros) como para la sociedad en general (en forma de una reducción de emisiones contaminantes y una menor dependencia de combustibles fósiles y energía nuclear, los cuales son recursos finitos y altamente contaminantes en el caso del primero y políticamente problemáticos en ambos casos).

### *Subcapítulo 1.3. Objetivos del proyecto*

El objetivo principal del proyecto consiste en el análisis de la situación energética de un centro comercial, y su posible mejora mediante la instalación de un sistema fotovoltaico en el tejado del edificio, entre otras mejoras posibles, con el objetivo de mejorar la calificación energética del edificio y también reducir el coste mensual del suministro eléctrico asociado.

Este trabajo se realiza sobre una base puramente teórica, ya que no se plantea como el proyecto final de la instalación apto para ser realizado por un instalador. Por ello, este proyecto tiene como finalidad no el diseño completo de un sistema fotovoltaico desde un punto de vista técnico, aunque incluirá ciertos procesos de diseño técnico, sino el planteamiento de una variedad de combinaciones de sistemas fotovoltaicos y/o medidas de mejora para este edificio de manera que se muestre las diferentes opciones por las que pueden optar los propietarios de este tipo de edificios con la finalidad de ahorrar económicamente.

Sujeto a este objetivo principal está el objetivo subsidiario de que este proyecto sirva como ejemplo de cómo plantear el diseño de un sistema fotovoltaico y otras medidas de mejora no solo desde un punto de vista técnico de cara al diseñador o instalador sino también desde un punto de vista económico de cara al propietario del inmueble.

### *Subcapítulo 1.4. Metodología de trabajo*

La primera fase del proyecto incluye la obtención de la calificación energética del edificio, lo cual precisa de la obtención de los datos arquitectónicos del edificio y los datos de consumo estimados, para después ser introducidos en el programa informático de cálculo de eficiencia energética de edificaciones.

En este caso, se usará el programa CE3X v2.3, de iniciativa público-privada, el cual permite obtener la calificación energética de los edificios sin necesidad de modelar la geometría del edificio en CAD, sino que permite introducir los datos arquitectónicos del edificio de forma agregada (en particular, el área y composición de las superficies exteriores del edificio).

Después, se planteará el estudio de los diferentes sistemas fotovoltaicos posibles según la geometría del edificio, incluyendo obtener la potencia deseada dependiendo de los datos de consumo estimados, la potencia máxima instalable y la disposición de los propios paneles solares en el tejado del edificio. El planteamiento se realizará manualmente, con la ayuda de herramientas de cálculo como Microsoft Excel o Matlab, mientras que la disposición de los paneles se realizará en Autodesk AutoCAD.

Tras esto, se realizará el diseño esquemático del sistema fotovoltaico. No se realizará un diseño exhaustivo (en particular, no incluye el trazado del cableado por el edificio ni el emplazamiento de los equipos auxiliares), sino que se realizará una serie de esquemas mostrando las características eléctricas del sistema fotovoltaico, incluyendo los equipos auxiliares de conversión y de protección y como irán conectados entre ellos. Para la creación de los planos correspondientes, se usará Autodesk AutoCAD.

Finalmente, se repetirá el análisis de calificación energética del edificio, usando los datos de consumo calculados con las estimaciones de producción de las instalaciones fotovoltaicas y las medidas de mejora elegidas. A su vez, se realizará un análisis económico de las instalaciones incluyendo su rentabilidad, amortización, etc.

## Capítulo 2. Estado del arte

### *Subcapítulo 2.1. Eficiencia energética en edificios*

Recientemente, se han creado nuevas normativas y legislaciones con el objetivo de reducir el consumo innecesario de energía en hogares y edificaciones terciarias: uso de mejores materiales aislantes y técnicas de construcción más eficientes, uso de iluminación de bajo consumo, venta de electrodomésticos y maquinaria más eficientes y con menor consumo en *standby*, etc.

Una de estas series de medidas, proveniente de la Unión Europea, fue la creación de una escala de calificación de eficiencia energética de las edificaciones, la cual permite al consumidor comparar la eficiencia energética de edificios dispares sin necesidad de extensos conocimientos técnicos y arquitectónicos.

#### ***2.1.1. Marco legal de calificación de eficiencia energética***

Existen antecedentes de varios gobiernos ajenos creando sistemas de calificación energética para edificaciones, como el método Energy Star de los Estados Unidos, de 1992, o el BREEAM del Reino Unido, de 1990. En el año 2002, la Unión Europea promulgó la Directiva de eficiencia energética en edificios (Directiva 2002/91/CE), traspuesta en España mediante el Real Decreto 47/2007. Esta norma estableció un sistema progresivo de calificación de edificios en cuanto a su gasto energético y sus emisiones de CO<sub>2</sub> (incluyendo las emisiones indirectas causadas por el consumo eléctrico), uniforme en toda la Unión Europea. Dicha ley solo era de obligatorio cumplimiento en el caso de los edificios de nueva construcción y únicamente aquellos destinados a un número reducido de propósitos.

La ley se actualizó en 2010 cuando se promulgó la Directiva 2010/31/UE, traspuesta en España mediante el Real Decreto 235/2013. Dicha directiva amplió la lista de propósitos de las edificaciones para las que eran necesarias las certificaciones de calificación energética, siendo ahora obligatorio para las propiedades residenciales.

Finalmente, se amplió el ámbito de aplicación a la gran mayoría de edificaciones, incluyendo edificaciones existentes, mediante la Directiva 2018/844/UE, traspuesta en España en el Real Decreto 390/2021. En este caso, el certificado es obligatorio si el inmueble se va a vender o alquilar, o en caso de reforma significativa. Esta última legislación movió la metodología y los parámetros de cálculo del propio texto de la ley a una serie de documentos redactados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, llamados Documentos Reconocidos, los cuales tienen validez legal en cuanto conciernen a la obtención de la calificación energética.

### ***2.1.2. Procedimiento de calificación de eficiencia energética***

El sistema de calificación de eficiencia energética de la Unión Europea, vigente en España, es un sistema progresivo donde las edificaciones reciben una serie de valoraciones en una escala alfabética entre la ‘A’ para los edificios más eficientes hasta la ‘G’ para los menos eficientes. (MINE15)

Existen varias medidas, o indicadores, en los que se califica a las edificaciones: dos indicadores principales (emisiones anuales de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>) y consumo anual de energía primaria no renovable) los cuales son obligatorios para obtener el certificado de eficiencia energética; y varios indicadores secundarios (demanda energética anual de calefacción y/o refrigeración, emisiones anuales de CO<sub>2e</sub> y/o consumo anual de energía primaria no renovable desagregado por servicios y emisiones anuales de CO<sub>2e</sub> desagregada por consumo eléctrico y por otros combustibles) de carácter no obligatorio (MINE15). Cada indicador se verá calificado en la escala alfabética de forma independiente, pudiendo obtener diferentes calificaciones dependiendo no solo de la construcción del edificio, sino que también de la eficiencia de las instalaciones de calefacción, refrigeración y ACS y la presencia de instalaciones de renovables.

Para poder comprender que es lo que miden exactamente dichos indicadores, es oportuno definirlos. La medida de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>) representa la cantidad de dióxido de carbono que sería necesario emitir hacia la atmósfera para igualar el daño ocasionado por la totalidad de las emisiones gases de efecto invernadero (metano, material particulado, óxido nitroso, etc.) causadas por la generación, procesamiento y/o utilización de la energía en sus diferentes formas (electricidad, combustibles fósiles, biomasa, biocombustibles, etc.). La medida de consumo anual de energía primaria no renovable se refiere al consumo de energía de fuentes no

renovables (en particular, combustibles fósiles y energía nuclear) ya sea para la producción de electricidad o su consumo directo (por ejemplo, en calderas de gas natural o gasoil) (MINE16). Es importante diferenciarlos en ciertos casos: por ejemplo, en zonas del territorio español donde no se use energía nuclear (como puede ser las provincias isleñas) la cual es considerada no contaminante por el primer indicador pero también no renovable por el segundo indicador, el consumo de electricidad puede tener valores de paso a CO<sub>2e</sub> más elevados (en caso que se use energía fósil para sustituirla) o menor consumo de energía no renovable (en caso que se use energía renovable para sustituirla). A su vez, el uso de biomasa hace que las emisiones de CO<sub>2e</sub> suban (ya que no se consideran un combustible neutro (MINE16)) pero no el consumo de energía primaria no renovable.

El proceso de cálculo de la calificación de eficiencia energética para edificaciones con uso distinto al residencial es el siguiente:

- Se calcula el valor numérico anual del indicador a calificar (por ejemplo, consumo anual de energía primaria no renovable en MWh o emisiones anuales de CO<sub>2e</sub> en kgCO<sub>2</sub>).
- Para el cálculo final, es necesario la construcción teórica de un edificio de referencia y obtener sus indicadores. Dicho edificio de referencia tiene la misma geometría que el edificio a calificar (edificio objeto), con algunas modificaciones:
  - Supresión de espacios no habitables en el diseño (buhardillas, huecos en la cimentación, locales anexos no habitables, etc.)
  - Composición estandarizada de los elementos arquitectónicos (muros, suelos, cubiertas, particiones interiores, puertas y ventanas, etc.), definiendo la composición de dichos elementos y las propiedades térmico-físicas a tener en cuenta para el cálculo. Dichas composiciones estándares se denominan las *soluciones constructivas de referencia*.
  - Equipos de iluminación, ACS y climatización estándares, con características de operación (rendimiento, consumo, caudales, etc.) uniformes.
- Se comparan los indicadores del edificio objeto a los indicadores del edificio de referencia y se calcula un índice de calificación C, el cual se refiere al valor del indicador del edificio objeto dividido por el indicador del edificio de referencia.

Mediante el valor del índice C se obtiene la calificación alfabética mediante la aplicación de la siguiente tabla.

<i>Calificación</i>	<i>Valor inferior de C, inclusive</i>	<i>Valor superior de C, no inclusive</i>
A		0,40
B	0,40	0,65
C	0,65	1,00
D	1,00	1,30
E	1,30	1,60
F	1,60	2,00
G	2,00	

Tabla 1. Equivalencias entre el índice C y la calificación energética

Todos los parámetros de cálculo, en particular la construcción del edificio de referencia, se sitúan en los Documentos Reconocidos “Calificación de la eficiencia energética de los edificios” (MINE15) y “Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética” (MITE20).

En la gran mayoría de casos, los pasos de cálculo descritos anteriormente se realizan mediante programas informáticos aprobados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y que están diseñados específicamente para el cálculo de eficiencia energética de los edificios, por lo que no solo no es necesario realizarlo manualmente sino que es un requerimiento legal que dicho análisis se realice por dicho software.

Existen dos tipos de software dependiendo de su algoritmo interno de cálculo y su método de introducción de datos. El método general, donde se introduce un modelo realizado en CAD del edificio a calificar junto con todas las propiedades arquitectónicas e instalaciones técnicas de éste y el programa realiza una simulación física del comportamiento del edificio, es más laborioso de cara al usuario pero son más precisos (NAVA12); ejemplos de estos programas son la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC), SG SAVE y CYPETHERM HE Plus.

El método simplificado, donde se introducen propiedades arquitectónicas agregadas sin necesidad de un modelo CAD y el programa realiza una comparación de los datos con una serie

de tablas de resultados precalculadas, es más sencillo de cara al usuario pero tiene una tendencia a dar calificaciones más bajas. Ejemplos de estos programas son CERMA, CE3 y CE3X

## Subcapítulo 2.2. Energía solar

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más importante en España. Tal u como se puede observar en la Ilustración 2, España cuenta con una de las tasas más altas de irradiación solar en Europa, convirtiéndolo es uno de los países más indicados en todo el continente para la instalación de capacidad de generación/aprovechamiento de energía solar en cualquiera de sus formas.

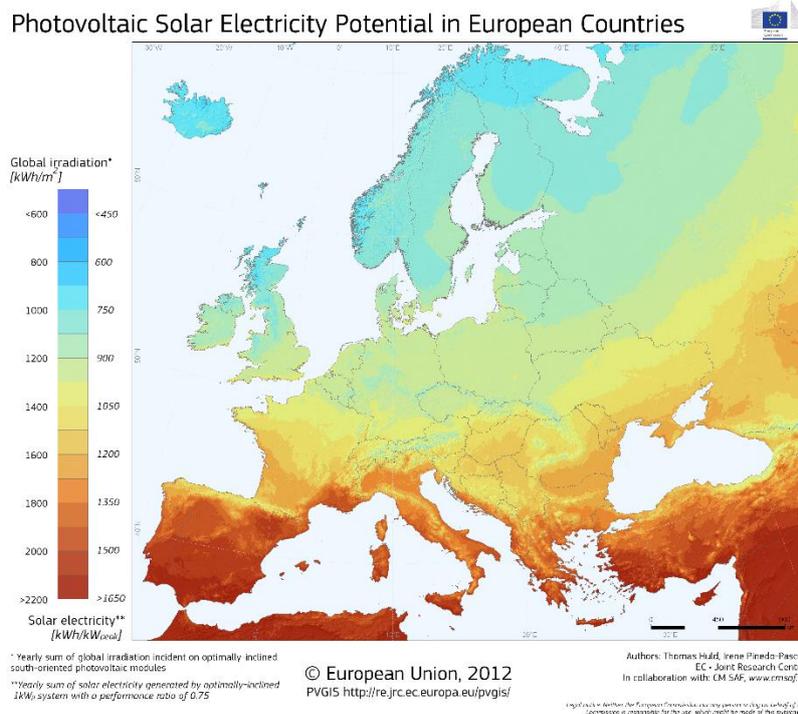


Ilustración 2. Mapa de potencial de producción fotovoltaica e irradiación global en Europa. Fuente: HULD12

### 2.2.1. Tipos de aprovechamiento solar para autoabastecimiento

La energía solar, en cuanto se refiere a las instalaciones en edificios para suplir parte o toda la demanda de éstos, consiste en dos tipos de instalaciones: instalaciones térmicas de ACS e instalaciones fotovoltaicas.

La energía solar térmica consiste en calentar un fluido, normalmente agua corriente en el caso de edificios residenciales o terciarios no industriales, mediante la incidencia de radiación solar

sobre una serie de paneles para después ser utilizada como fuente de calor (en caso de parte descrito anteriormente, se usa para suministrar ACS a las viviendas o locales del edificio). Estos tipos de sistemas tienen eficiencias elevadas, pudiendo alcanzar eficiencia del 80% o superior en instalaciones reales (IDAE20); sin embargo, en instalaciones de autoabastecimiento es impráctico su uso para la producción de energía eléctrica, por lo que su utilidad se restringe a proveer una fuente de calor alternativa y complementaria a las instalaciones de combustibles fósiles (gas natural o gasoil).

La otra variante de energía solar es la energía fotovoltaica. Dicha fuente de energía consiste en aprovechar el efecto fotovoltaico, una propiedad física de ciertos materiales semiconductores, como el silicio, por la cual dichos materiales producen una corriente eléctrica al ser incididos por una fuente de radiación, como puede ser la luz solar. Esta tecnología posee eficiencias menores, con la mayoría de las instalaciones reales situándose entre el 15% y 20% (CSS\_21). Esa baja eficiencia se ve compensada por su versatilidad, ya que la energía eléctrica se puede usar para iluminación, calefacción, refrigeración y ACS mediante bombas de calor, cargas eléctricas varias, etc.

### ***2.2.2. Sistemas fotovoltaicos para autoabastecimiento***

Como se ha indicado anteriormente, los sistemas fotovoltaicos transforman la energía solar en energía eléctrica directamente, sin necesidad de un fenómeno térmico o mecánico. Es por ello por lo que difieren en gran manera de las formas más comunes de generación de electricidad como las centrales térmicas o la energía eólica, las cuales dependen del uso de un generador para la conversión de energía mecánica a energía, y en su lugar necesitan equipamiento especializado de electrónica de potencia para su óptimo control y aprovechamiento.

#### **PANELES SOLARES**

El elemento principal del sistema es el sistema de módulos fotovoltaicos. Dichos módulos están compuestos por varias celdas fotovoltaicas fabricadas con materiales semiconductores, comúnmente silicio por su bajo precio y amplia disponibilidad pero placas con elementos como selenio, galio o telurio con eficiencias más altas están entrando al mercado por su capacidad de producir más potencia dado un espacio limitado como un tejado.

Los dos grandes tipos de tecnologías empleados comercialmente son los módulos de celdas cristalinas y módulos de capa fina ‘*thin film*’. Los módulos de celdas cristalinas son los más comunes, ya que dicha tecnología es más madura y suelen alcanzar mayores niveles de eficiencia. Dichos módulos están compuestos de varias celdas fotovoltaicas, de material semiconductor sobre un sustrato no semiconductor, conectadas en serie y/o paralelo y dispuestas sobre una plancha de aluminio como la base del módulo, siendo el tipo de celdas y como están conectadas entre ellas lo que determinen las propiedades eléctricas y de eficiencia del módulo (las celdas de silicio policristalinas, más baratas pero menos eficientes, alcanzando un rendimiento de un 20%, mientras que las celdas de silicio monocristalinas son más caras y pueden alcanzar un rendimiento del 24%) (CSS\_21).

Los módulos de placa fina ‘*thin film*’ es una tecnología más joven y barata pero con peores índices de rendimiento. Los módulos de esta tecnología se construyen depositando materiales semiconductores, como silicio amorfo o cadmio-telurio, sobre una capa de sustrato de vidrio, metal o plástico mediante procesos químicos, por lo que a efectos prácticos el módulo entero es una celda continua. Sin embargo, rendimientos inferiores al 20% son comunes, por lo que únicamente se usan para aplicaciones de baja potencia o donde se necesite que el propio panel sea resistente a la flexión (si el sustrato es un plástico flexible).

### **INVERSOR SOLAR**

Independientemente del tipo de panel solar instalado, el conjunto de módulos produce energía eléctrica en forma de corriente continua, siendo necesario transformar dicha corriente a corriente alterna a tensión y frecuencia de red para poder ser utilizada por las cargas eléctricas del edificio y también poder verter el excedente de producción a la red.

El inversor solar es un dispositivo de electrónica de potencia que se encarga de convertir (en este caso denominado invertir) la corriente continua producida por los paneles solares en corriente alterna a la tensión y frecuencia de red. Dichos dispositivos también tienen varias otras funciones claves, como el seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles solares: los paneles solares, por la naturaleza del efecto fotovoltaico, tienen una relación inversa entre tensión en sus bornes y corriente entregada, por lo que una de las funciones del inversor solar es encontrar y mantener el sistema en el punto de máxima potencia y así obtener el mayor rendimiento posible del sistema, como se puede observar en la Ilustración 3.

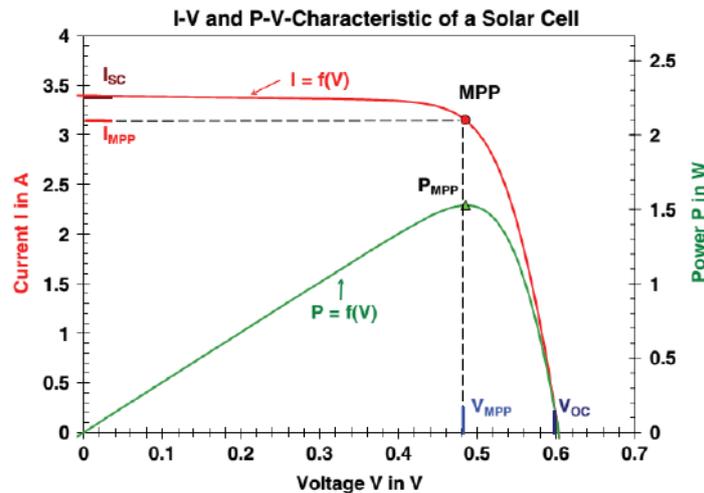


Ilustración 3. Ejemplo de curvas I-V y P-V de un panel solar. Fuente: HASH16

Los inversores también actúan como elementos de seguridad de las instalaciones fotovoltaicas, incluyendo funciones como protección contra sobretensiones en el lado de corriente continua o detección de caída de tensión o frecuencia de red, muchas veces requeridos por ley para garantizar la seguridad de los usuarios y técnicos.

Existen dos sistemas de inversores solares: inversores centrales o inversores *string*, los cuales conectan un gran número de paneles solares en serie y/o paralelo (una cadena o *string* de paneles) a un solo inversor de alta potencia (con capacidad de decenas o cientos de kilovatios); y microinversores, los cuales se conectan individualmente a cada módulo solar e invierten únicamente la energía generada por un panel (cada uno con una potencia reducida, en torno a medio kilovatio). Tradicionalmente se han usado inversores centrales por su facilidad de gestión al tener el sistema centralizado y por tener un coste más bajo por kilovatio; sin embargo, las ventajas de los microinversores, en particular su mayor eficiencia y mejor tolerancia a los fallos, los está posicionando como una opción atractiva, ya que el aumento de eficiencia puede amortizar su coste más elevado (FAMO15).

El dimensionado del inversor debe ser en torno al 80% de la potencia nominal del conjunto de paneles, ya que la eficiencia real de los paneles solares es en torno a un 4-5% menor que la eficiencia de laboratorio (CSS\_21), por lo que un panel de celdas del 20% tendrá una eficiencia real en torno al 15%.

## **OTROS ELEMENTOS**

Los paneles solares deben ser instalados sobre algún tipo de soporte o apoyo mecánico, categorizados en dos grandes grupos: fijos y giratorios. Los soportes fijos son los más comunes para instalaciones sobre edificios, ya que son más ligeros, requieren un mantenimiento mínimo y permiten su instalación en tejados inclinados, aunque dado que el sol se mueve relativo a los paneles, es posible que los paneles no estén produciendo la cantidad máxima de energía posible en esa situación. Los soportes fijos pueden ser planos, en el caso de instalación sobre un tejado inclinado que aproveche dicha característica arquitectónica para orientarse lo mejor posible al sol, o inclinados, usados en suelos planos donde los paneles solares necesitan inclinación más allá de lo que le provee el diseño físico del edificio. Los soportes giratorios son usados por instalaciones sobre el terreno, ya que el peso no es un problema en esa situación y son más accesibles para el mantenimiento necesario, pero se puede aprovechar más energía solar que con los soportes fijos.

También son importantes los elementos de seguridad del sistema, adicionales a aquellos encontrados en el inversor solar: en el caso de los inversores *string* para autoabastecimiento, las tensiones en el lado de corriente continua pueden exceder los cientos de voltios (con algunos sistemas acercándose al millar de voltios), por lo que es necesario la instalación de elementos de protección especialmente diseñados para altas tensiones en corriente continua, como fusibles de sobrecorriente e interruptores de emergencia. El cableado también debe ser especialmente diseñado no solo para poder aguantar las altas tensiones sin causar un cortocircuito, sino poder hacerlo sufriendo condiciones meteorológicas adversas durante años.

## **EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN**

Para un rendimiento óptimo de las instalaciones solares, es necesario tener en cuenta las características arquitectónicas del edificio. En las cubiertas de los edificios, se pueden encontrar superficies suficientemente planas para la instalación de soportes en ángulo para los paneles, o superficies inclinadas que impidan la instalación de dichos soportes y sea necesario montar los paneles solares sobre un soporte plano paralelo a la superficie de la cubierta.

En el diseño de la disposición de los paneles fotovoltaicos, es necesario tener en cuenta tres elementos: dirección cardinal (azimut), ángulo de elevación y sombras. El azimut es el ángulo en el que están orientados los paneles según su dirección cardinal; comúnmente, la orientación

hacia el norte se denota como  $0^\circ$ , aunque dado que los paneles en el hemisferio norte deben estar orientados hacia el sur para la producción óptima de energía, varios documentos relacionados con su diseño e instalación denotan el sur como  $0^\circ$ , el oeste como valores positivos y el este como valores negativos. La instalación de paneles hacia el este u oeste hace que se reduzca su capacidad de producción, pudiendo ser todavía rentables en ciertas condiciones; sin embargo, la instalación de paneles con orientación al norte está desaconsejada debido a la muy baja producción de energía.

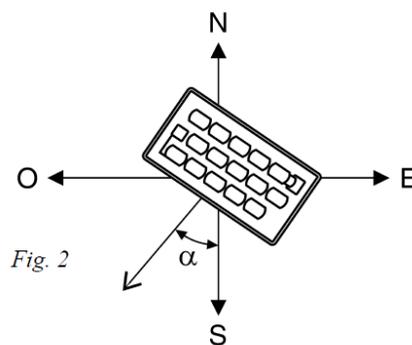


Ilustración 4. Azimut de un panel solar. Fuente: IDAE11

El ángulo de elevación o de inclinación es el ángulo que forma el panel con el plano horizontal. Este ángulo depende de la latitud a la que se encuentre la instalación y durante que época del año se desea que produzcan más energía. Para su uso general durante todo el año, se recomienda que el ángulo de inclinación en grados sea el mismo que la latitud de la instalación, siendo recomendable aumentar o disminuir el ángulo de inclinación en  $10^\circ$  si se desea producir más energía en las temporadas invernales o estivales, respectivamente (IDAE20).

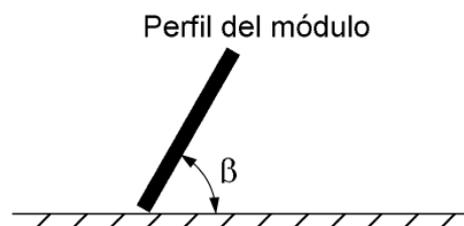


Ilustración 5. Ángulo de inclinación de un panel solar. Fuente: IDAE11

Se debe tener en cuenta que por lo general, un aumento o disminución menor de  $15^\circ$  en el ángulo de inclinación o un cambio menor de  $45^\circ$  en el azimut con respecto a la posición óptima implica menos de un 5% de pérdida de capacidad de generación (IDAE11, IDAE20), por lo que no es necesario tener un emplazamiento totalmente óptimo sino que se puede adaptar a las necesidades arquitectónicas y estéticas de la situación.

La fórmula para el cálculo de pérdidas según la localización de la instalación y el emplazamiento de los módulos solares es la siguiente:

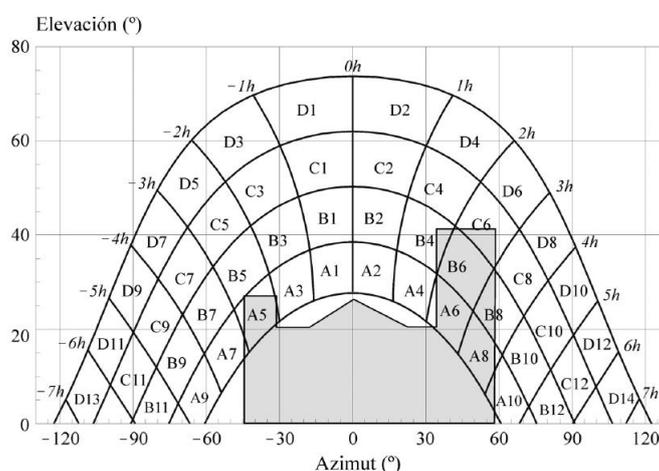
$$\text{Pérdidas}[\%] = \begin{cases} 100 \times (1,2 \times 10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \times 10^{-5}\alpha^2) & \text{para } \beta > 15^\circ \\ 100 \times (1,2 \times 10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2) & \text{para } \beta \leq 15^\circ \end{cases}$$

*Ecuación 1. Pérdidas energéticas de una instalación solar. Fuente: IDAE11*

Siendo  $\alpha$  el azimut del panel,  $\beta$  la inclinación del panel y  $\phi$  la latitud de la instalación, todos los parámetros expresados en grados.

Los patrones de sombra proyectados sobre los paneles solares también influyen en el rendimiento total de éstos, siendo posible que el módulo fotovoltaico no reciba luz solar debido a aspectos arquitectónicos del edificio u objetos ajenos a éste (otros edificios, obstáculos naturales, etc.)

Para tener en cuenta las pérdidas por sombras en el diseño de la instalación fotovoltaica, se usa el procedimiento detallado en IDAE11 sobre cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras. En dicho procedimiento, se construye el perfil del obstáculo en función del azimut y su elevación con respecto al plano horizontal y en el lugar donde se colocará el panel fotovoltaico; a continuación, se posiciona el patrón de sombras sobre un diagrama de trayectorias del sol, y se compara con las zonas afectadas y en qué proporción quedan afectadas (por ejemplo, en la Ilustración 6 se puede observar cómo la zona B6 están completamente cubierta mientras que la zona B4 solo está cubierta al 25%). Finalmente, se cotejan los coeficientes correspondientes a cada zona con una serie de tablas detalladas en IDAE11 y se suman ponderando la proporción cubierta de cada zona.

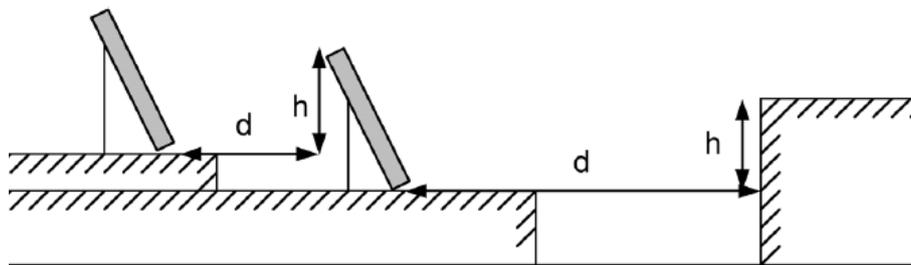


*Ilustración 6. Diagrama de trayectorias del sol en la Península Ibérica con patrón de sombra de ejemplo. Fuente: IDAE11*

Como método simplificado para obstáculos horizontales (partes de la cubierta a otra altura u otras filas de paneles), se permite el cálculo mediante una única fórmula, siendo  $d$  la distancia sobre la horizontal entre el obstáculo y el módulo la siguiente como se puede observar en la Ilustración 7:

$$d \geq \frac{h}{\tan(61^\circ - \phi)}$$

*Ecuación 2. Distancia mínima de los paneles solares a obstáculos con sombra. Fuente: IDAE11*



*Ilustración 7. Diagrama de posición de módulos contiguos y obstáculos horizontales. Fuente: IDAE11*

### 2.2.3. Marco legal de autoabastecimiento fotovoltaico

Existen varias vertientes legislativas en cuanto a la obligatoriedad de instalar un sistema fotovoltaico y los requerimientos técnicos y energéticos de dicho sistema.

En cuanto a la obligatoriedad de dichos sistemas, es de importancia el Código Técnico de Edificación (CTE), última versión en el Real Decreto 732/2019. El CTE está organizado en varios Documentos Básicos, donde se documentan varias series de requerimientos pertinentes a la construcción de los edificios, desde seguridad estructural a salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía; cada Documento Básico contiene una serie de Exigencias Básicas sobre el tema abordado por el Documento en cuestión. La obligatoriedad de instalaciones fotovoltaicas pertenece al Documento Básico sobre Ahorro de Energía (DB-HE), en la Exigencia Básica HE5 (Generación mínima de energía eléctrica), en la cual se requiere que los edificios de uso no residencial de nueva construcción o que sufra una renovación, cuya superficie construida o renovada sea mayor de 3000 m<sup>2</sup> estén dotados con una instalación de producción eléctrica, siendo la potencia mínima exigido de la instalación la siguiente:

$$P_{min}[kW] = \min(0,01 * S, 0,05 * S_c), \quad P_{min} > 30, P_{min} < 100$$

Siendo  $S$  la superficie habitable del edificio y  $S_c$  la superficie de la cubierta (MFOM19).

En cuanto concierne a los requerimientos sobre la instalación fotovoltaica, incluyendo ambos aspectos técnicos como económicos, existen varias obras legislativas dispersas. El Reglamento electrotécnico para baja tensión, publicado en el Real Decreto 842/2002 con la última modificación en el Real Decreto 298/2021, detalla las características técnicas de las instalaciones de baja tensión, definida como instalaciones con tensiones menores a 1000 V en corriente alterna y/o 1500V en corriente continua, la cual abarca a la gran mayoría de instalaciones fotovoltaicas de autoabastecimiento. Dicho reglamento describe todos los requerimientos eléctricos, incluyendo elementos de seguridad, dimensionado de los elementos del sistema, métodos de instalación, etc. En particular, es importante la instrucción técnica complementaria ITC-BT-40 (Instalaciones generadoras de baja tensión), detallando los requerimientos de conexión a red de una instalación de generación a pequeña escala como pueden ser un sistema fotovoltaico.

También cabe mencionar que la seguridad estructural de la instalación, tanto de los equipos usados como de su anclaje al edificio se debe hacer conforme al Documento Básico sobre Seguridad Estructural (DB-SE) y el Documento Básico sobre Salubridad (DB-HS) del Código Técnico de Edificación, ya que los módulos solares instalados deben aguantar condiciones medioambientales adversas sin que ocasionen daños al edificio o personas cercanas.

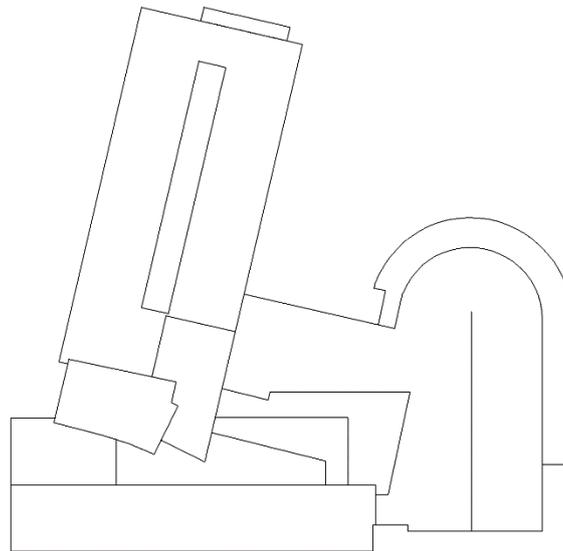
La parte económica de las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo está regulada mediante el Real Decreto 244/2019, en el cual se detallan todas las normas que deberán tener las transacciones de compraventa de energía en función del sistema instalado. Existen dos tipos de instalaciones: instalaciones sin excedente, en la cual se instala un sistema anti vertido que impide la entrada de energía sobrante a la red, o con excedentes, en la cual se vierte la energía sobrante a la red; esta última categoría se puede subdividir en excedentes con compensación, en la que únicamente se puede vender la energía consumida desde la red eléctrica, o sin compensación. En este último caso, junto con las instalaciones con potencia nominal superior a 100kW, el vertido de energía se realiza como comercializador eléctrico, aplicando el Real Decreto 1183/2020, siendo este proceso más laborioso pero permitiendo la venta de energía sin importar la energía consumida previamente.



## Capítulo 3. Estado actual del edificio

### *Subcapítulo 3.1. Descripción del edificio*

La edificación en cuestión es un edificio asimilable a un centro comercial de cuatro plantas destinado a pequeños comercios. El edificio tiene 2854 m<sup>2</sup> de superficie habitable, repartidos de forma aproximadamente equivalente entre las distintas plantas. La orientación del edificio es según se muestra en la Ilustración 4, con el norte siendo la parte superior del boceto.



*Ilustración 8. Boceto de la cubierta del edificio. Adaptado de planos provistos por el Director del TFG*

Para tener en cuenta los efectos del clima sobre el consumo energético del edificio, dicho centro comercial se sitúa en Madrid (zona climática D3, MFOM19). El diseño del edificio se realizó según la normativa NBE-CT-79, aplicable entre 1981 y 2007.

En cuanto a la cubierta, la cual es de especial importancia para plantear las posibles instalaciones solares, no es uniforme en cuanto a composición, alturas o inclinación, ya que hay tramos de tejado con entre 30% y 40% de inclinación, tramos de drenaje con 3-5% de inclinación con áridos, y varios lucernarios.

## Subcapítulo 3.2. Situación energética del edificio

### 3.2.1. Descripción de las instalaciones técnicas

El consumo total del edificio es innecesario para el cálculo de la eficiencia energética de éste, usando datos de los equipos de las instalaciones de calefacción, refrigeración y ACS (o en su lugar aproximando dicho consumo usando los datos predeterminados por el programa.)

El edificio tiene dos sistemas de calefacción por Gasóleo-C, uno de ellos de 250kW que únicamente suministra calor para el sistema de calefacción, y otro sistema de 125kW que además provee al edificio de ACS con la ayuda de un acumulador de 1000 L, contando un rendimiento de combustión del 74% y 78% respectivamente (valores conocidos); también cuenta con un sistema de refrigeración por bomba de calor de capacidad frigorífica rendimiento nominal del 180% (valor estimado por la edad del equipo; la potencia no es necesaria para el cálculo). Ambos sistemas están conectados a un sistema de ventilación que distribuye el aire caliente/frío por el edificio a una tasa de 200 m<sup>3</sup>/h. En cuanto a iluminación, el edificio usa mayoritariamente tubos fluorescentes con aportes de focos halógenos, con una iluminación de 300 lux de media (valor estimado).

En la actualidad no cuenta con ninguna instalación de aprovechamiento de energías renovables de ningún tipo.

### 3.2.2. Calificación energética del edificio

Introduciendo los datos en el programa CE3X, se obtiene la siguiente calificación del edificio:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m <sup>2</sup> año]		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año]	
< 156.7 A		< 34.2 A	
156.7-254.4 B		34.2-55.5 B	
254.7-391.9 C		55.5-85.4 C	
391.9-509.4 D		85.4-111.1 D	
509.4-627.0 E	479.7 D	111.1-136.7 E	112.2 E
627.0-783.7 F		136.7-170.9 F	
> 783.7 G		> 170.9 G	

Ilustración 9. Calificación energética previa del edificio. Fuente: elaboración propia mediante CE3X

El consumo estimado de energía primaria no renovable es de 479,7 kWh/m<sup>2</sup>, obteniendo una calificación de D pero más cercana a la E, que es la calificación obtenida en el indicador de emisiones de dióxido de carbono equivalentes, con 112,2 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Ambas calificaciones son

buenas teniendo en cuenta que el edificio fue diseñado con la normativa anterior al CTE, y cuyas normas en cuanto a ahorro de energía eran mínimas.

Dado que la calificación de las emisiones es peor que la de uso de energía primaria, se puede deducir que hay ciertos consumos energéticos que son más contaminantes en términos de  $\text{kgCO}_2/\text{kWh}$  que otros. El principal sospechoso son las calderas de Gasóleo-C; el Gasóleo-C tiene un factor de paso de emisiones de  $0,311 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$  mientras que los combustibles gaseosos como el GLP o el gas natural tienen un factor de paso de  $0,254$  y  $0,252 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$  respectivamente (MINE16).

INDICADORES PARCIALES			
CALEFACCIÓN		ACS	
<i>Emisiones calefacción</i> [ $\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	E	<i>Emisiones ACS</i> [ $\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	G
84.87		1.71	
REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Emisiones refrigeración</i> [ $\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	C	<i>Emisiones iluminación</i> [ $\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	C
8.02		17.63	

Ilustración 10. Indicadores secundarios de emisiones de  $\text{CO}_2$ . Fuente: elaboración propia mediante CE3X

INDICADORES PARCIALES			
CALEFACCIÓN		ACS	
<i>Energía primaria calefacción</i> [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	E	<i>Energía primaria ACS</i> [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	G
321.76		6.48	
REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Energía primaria refrigeración</i> [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	C	<i>Energía primaria iluminación</i> [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ]	C
47.35		104.10	

Ilustración 11. Indicadores secundarios de consumo de energía primaria no renovable. Fuente: elaboración propia mediante CE3X

En cuanto a los indicadores complementarios, los indicadores de calefacción y ACS (E en calefacción y G en ACS, Ilustración 6 e Ilustración 7) indican una calificación muy poco eficiente, posiblemente por el bajo rendimiento de combustión de ambas calderas (CE3X por defecto, asigna 90% de rendimiento de combustión a las calderas cuyo rendimiento real sea desconocido); el hecho de que la calificación de ACS, la cual involucra la caldera menos eficiente de las dos, sea incluso peor que la de calefacción da creencia a dicha hipótesis.

Los indicadores de refrigeración e iluminación son mejores; dicha puntuación de iluminación es la esperada, ya que usa elementos de iluminación eficientes, pero dada la edad del equipo de aire acondicionado usado para refrigeración, resulta ligeramente incoherente.

Esta situación paradójica se resuelve al comparar los resultados de calificación de la demanda energética de calefacción y refrigeración del propio edificio. Dichas calificaciones no se ven afectadas por los equipos instalados (excepto los que aporten calor como producto secundario, como la iluminación), sino que dependen del diseño arquitectónico del propio edificio. En este

caso, el edificio requiere 184,0 kWh/m<sup>2</sup> de energía calorífica final para poder mantener condiciones de confort en las temporadas frías, adquiriendo así una calificación de E, mientras que únicamente requiere 33,3 kWh/m<sup>2</sup> de energía frigorífica para llegar al mismo objetivo en las temporadas cálidas, ganando una calificación de C.

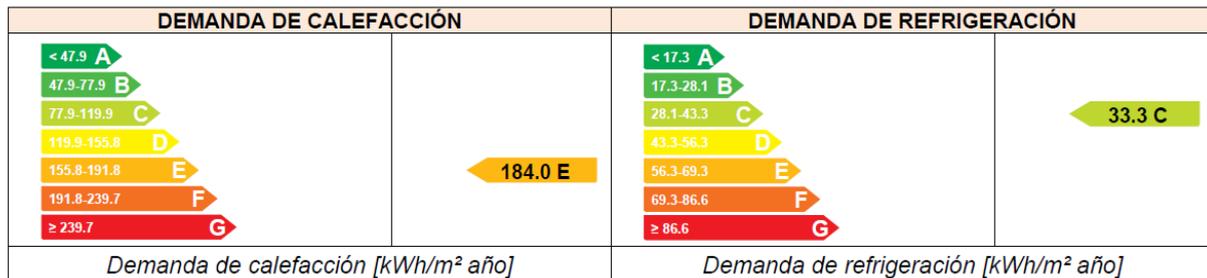


Ilustración 12. Calificación de la demanda de calefacción y refrigeración del edificio. Fuente: elaboración propia mediante CE3X

Por ello, aunque la ineficiencia de los equipos de calentamiento sea parte del problema, no se puede obviar que el diseño del edificio está centrado en desprender calor en épocas cálidas y no retenerlo en épocas calientes.

# Capítulo 4. Análisis de posibles mejoras

## *Subcapítulo 4.1. Instalaciones fotovoltaicas*

Las instalaciones fotovoltaicas pueden mejorar la calificación energética del edificio al reducir la demanda total de energía primaria no renovable y las emisiones totales de CO<sub>2</sub>; sin embargo, dichas instalaciones no reducen los indicadores secundarios, ya que la energía producida por dichos sistemas no se contribuye íntegramente a ningún sistema en particular sino que se agrega al consumo agregado del edificio.

### **4.1.1. Consideraciones previas**

Para iniciar el planteamiento de las instalaciones, es necesario conocer las condiciones óptimas de funcionamiento. Según la herramienta PVGIS desarrollada por la Comisión Europea y reconocida por el Ministerio de Transición ecológica y Reto Demográfico como fuente de reconocida solvencia para el cálculo de instalaciones solares, la inclinación óptima para los paneles solares en Madrid es de 37° con un azimut óptimo de entre 0° y -4°.

### **4.1.2. Estudio de la cubierta del edificio**

La cubierta se divide en varios segmentos, con ciertos segmentos siendo de evacuación de aguas con un 3%-5% de pendiente (además de un saliente sin inclinación alguna), otros de tejado inclinado con 30% o 40% de inclinación y otros de lucernarios y tragaluces.

Preferiblemente, los módulos fotovoltaicos se instalarán en los segmentos de evacuación, donde es posible la instalación usando soportes que proporcionen el acimut y el ángulo de inclinación óptimos a los módulos fotovoltaicos. Sin embargo, la superficie de los segmentos de evacuación es reducida en comparación con los de tejado, por lo que será necesario instalar módulos fotovoltaicos en los tejados con el inconveniente de que su instalación se realiza siguiendo la superficie del tejado, y por tanto contarán con ángulos de azimut e inclinación no óptimos. Los lucernarios no se usarán para las instalaciones fotovoltaicas debido a problemas

con la iluminación interna del edificio si se reduce la luz natural entrante con la que estaba diseñado este edificio.

La disposición, los tipos de cubierta y las inclinaciones de la cubierta disponibles para la instalación son los siguientes, con zonas inaccesibles marcadas con una cuadrícula (recordando que la parte superior del dibujo se corresponde con el norte):

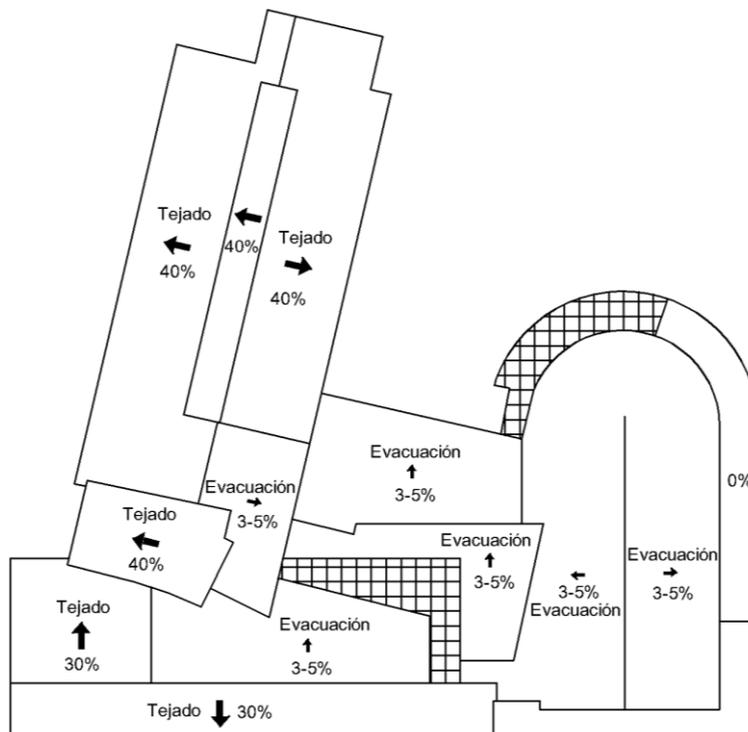


Ilustración 13. Disposición de las zonas de la cubierta. Adaptado de planos provistos por el Director del TFG

### **CUBIERTAS DE EVACUACIÓN/CUBIERTA PLANA**

Estas cubiertas tienen una pendiente aproximada de 3-5% con superficie de grava suelta sobre una serie de capas de impermeabilización y aislante, a su vez situada sobre un forjado de hormigón horizontal. Es altamente recomendable no traspasar las capas de impermeabilización, ya que al permitir la entrada de agua por debajo de éstas se reduce la efectividad del aislamiento y puede dar lugar a problemas de ingreso de agua en las zonas habitables situadas debajo de la cubierta en cuestión. Por ello, la solución más factible sería la de estructuras lastradas: soportes inclinados fabricados en hormigón, los cuales se colocan sobre la grava sin necesidad de fijación a la cubierta por su gran peso y por tanto no es necesario cortar ni perforar ninguna de las capas protectoras de la cubierta.

En total, se dispone de 609,1m<sup>2</sup> de cubierta de evacuación separada en cinco segmentos:

- Cubierta situada en el extremo sur del ala oeste del edificio orientado al sureste (54,4m<sup>2</sup>)
- Cubierta situada al sur del segmento anterior orientado al norte (97,7m<sup>2</sup>)
- Cubierta situada al norte del tragaluz trapezoidal orientado al norte (62,9m<sup>2</sup>)
- Cubierta situada sobre el ala este y zona central con varias pendientes (394,1m<sup>2</sup>)
- Cubierta situada al este del segmento anterior sin pendiente (54,8m<sup>2</sup>)

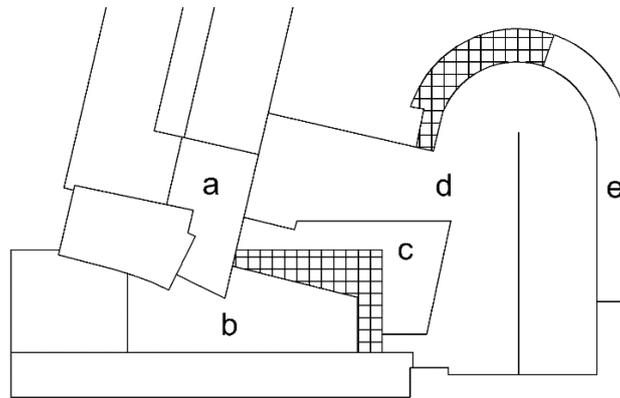


Ilustración 14. Cubiertas de evacuación del edificio.

### TEJADOS/CUBIERTA INCLINADA

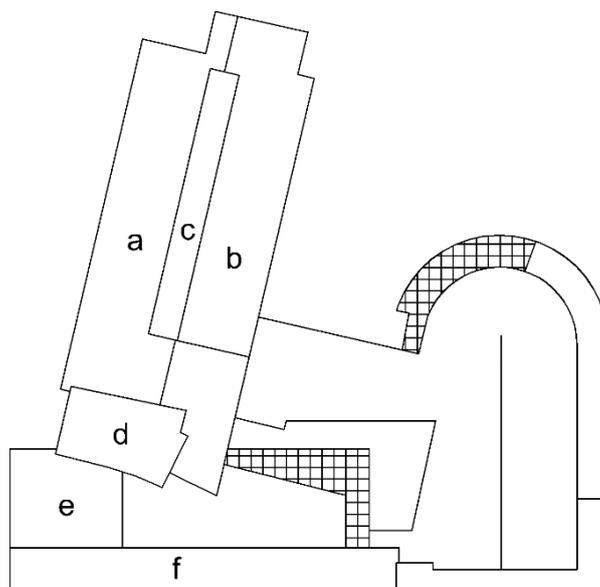
Los tejados son caracterizados por su capa exterior de tejas de cerámica o de pizarra (en este edificio son tejas cerámicas). En este edificio, los tejados están aislados mediante una capa de poliestireno extruido de 80mm y cuenta con dos capas de ventilación por lo que no sería recomendable la fijación de los soportes de los paneles al forjado de hormigón ya que se podría causar un fallo de impermeabilización y aislamiento. Sin embargo, se desconoce los tipos de rastreles sobre los que están colgadas las tejas, lo cual da lugar a que se den dos posibles casos; que los rastreles sean metálicos, lo cual permitiría fijar los paneles a los rastreles directamente mediante salvatejas, o que los rastreles sean de madera, lo cual obligaría a fijar los soportes mediante varillas roscadas que atraviesen las tejas y capas intermedias, adheridas al forjado de hormigón mediante anclaje químico y con una junta de estanqueidad sobre el agujero perforado en la teja correspondiente para prevenir la entrada de agua. El método de fijación es independiente del soporte, ya que la mayoría de los sistemas de soporte de paneles solares asumen que ciertas instalaciones usarán varillas roscadas o similar para su fijación.

Ya que los tejados están provistos de una inclinación intrínseca, en torno al 30-40%, se podría aprovechar dicha inclinación mediante el uso de soportes coplanares, los cuales permiten un

mayor aprovechamiento de la superficie de la cubierta ya que no hace falta tener en cuenta las sombras proyectadas por los demás paneles. Dichos sistemas permitirían un ángulo de inclinación de los paneles de  $16,7^\circ$  en los segmentos de 30% y  $21,8^\circ$  en los segmentos de 40%; sin embargo, se debe tener en cuenta de que la inclinación óptima varía con el azimut, con aumentos en el valor absoluto del azimut reduciendo la inclinación óptima.

En total, se dispone de  $630,6 \text{ m}^2$  de superficie horizontal ( $673,2 \text{ m}^2$  de superficie real) repartidos de la siguiente manera:

- Tejado en el ala oeste orientado hacia el noroeste con 40% de inclinación ( $187,3 \text{ m}^2$  horizontales,  $201,7 \text{ m}^2$  reales)
- Tejado en el ala oeste orientado hacia el sureste con 40% de inclinación ( $158,7 \text{ m}^2$  horizontales,  $170,9 \text{ m}^2$  reales)
- Tejado en el ala oeste sobre el tragaluz central orientado hacia el noroeste con 40% de inclinación ( $52,3 \text{ m}^2$  horizontales,  $56,3 \text{ m}^2$  reales)
- Tejado al sur de y colindante con el ala oeste orientado hacia el noroeste con 40% de inclinación ( $56,1 \text{ m}^2$  horizontales,  $60,4 \text{ m}^2$  reales)
- Tejado al sur de y colindante con el segmento anterior orientado hacia el norte con 30% de inclinación ( $66,7 \text{ m}^2$  horizontales,  $69,6 \text{ m}^2$  reales)
- Tejado al sur de y colindante con el segmento anterior orientado hacia el sur con 30% de inclinación ( $109,5 \text{ m}^2$  horizontales,  $114,3 \text{ m}^2$  reales)



*Ilustración 15. Tejados del edificio*

### 4.1.3. Cálculo de posibilidades de producción

A continuación, se procederá al cálculo de intensidad energética de cada una de las cubiertas. La intensidad energética de un sistema solar es la producción anual de energía dividida por la potencia nominal (*peak power*) de la instalación, expresada en kWh/kWp; a mayor intensidad energética, mayor será el rendimiento económico ya que para una potencia nominal determinada se genera más energía para compensar en consumo o introducir a la red eléctrica. Para ello, se usará la herramienta PVGIS, introduciendo los datos de azimut e inclinación correspondientes y una instalación hipotética con los parámetros predeterminados de 1 kWp.

#### CUBIERTAS DE EVACUACIÓN/CUBIERTAS PLANAS

Dado que el ángulo de azimut e inclinación de los paneles solares lo determina los soportes de los paneles fotovoltaicos, se pueden usar valores estándares próximos a los valores óptimos calculados por PVGIS (en este caso, se usará 0° de azimut y 34% de inclinación) ambos para el cálculo energético y el diseño de la instalación en todas las cubiertas planas. Introduciendo estos valores en PVGIS, se obtiene una intensidad energética de 1554,21 kWh/kWp.

#### TEJADO/CUBIERTAS INCLINADAS

Para estas cubiertas, se han usado soportes coplanares, por lo que los ángulos de azimut e inclinación se corresponden con los de las propias cubiertas. La intensidad energética de cada uno de los tejados, siguiendo la numeración del apartado 4.1.2 del Subanexo I.2, se describe en la siguiente tabla:

<i>Tejado</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
kWh/kWp	1201,79	1340,8	1201,79	1201,79	970,87	1483,32

Tabla 2. Intensidad energética de los tejados según PVGIS

Como se puede observar, la intensidad energética de las cubiertas planas es mayor que la intensidad energética de cualquiera de las cubiertas inclinadas, por lo que el diseño de las instalaciones sobre las cubiertas planas se prioriza por encima de las instalaciones en tejado inclinado.

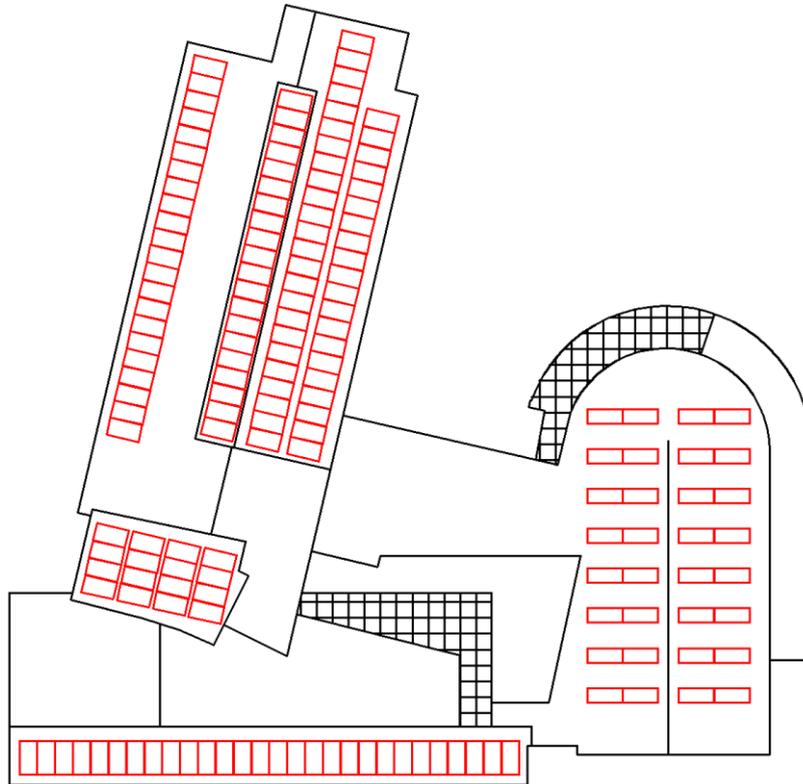
#### ***4.1.4. Disposición posible de los paneles por cubierta***

Los paneles solares se deben de instalar sobre las cubiertas de forma que no se vean tapadas por sombras de elementos arquitectónicos o por otros paneles solares para obtener el mejor rendimiento de la instalación. Se usarán paneles solares CanadianSolar HiKu CS3W-450M, con dimensiones de 210,8 x 104,8 cm y de 450W de potencia máxima, y se usarán inversores solares trifásicos SMA Sunny Tripower, disponibles en versiones de entre 3kW y 10kW. Se instalará un inversor por cada *string* de paneles, lo cual permitirá optimizar el rendimiento del sistema en cuanto a posibles sombras (dado que de esta manera, )

En las cubiertas planas, se usarán soportes inclinados con respecto a la superficie de montaje, por lo que será necesario calcular la distancia mínima entre paneles solares; para ello, se utilizará la Ecuación 2 según el diagrama de la Ilustración 7 (siendo los paneles instalados horizontalmente, con el lateral más largo en horizontal), dando una separación entre paneles de 153 cm. También se tendrá en cuenta los petos de cubierta que puedan tener estas zonas (de los cuales se desconoce su altura exacta; como estimación conservadora, se usará 1,5m de altura) y las sombras de estructuras colindantes situadas al sur (de las cuales se tienen medidas orientativas pero no exactas, las cuales se usarán para el cálculo), por lo que serán colocados a cierta distancia al sur de estas estructuras. Se omite la cubierta (a) por recibir bastante sombra por parte de los tejados (a), (b) y (d), y también se omite la cubierta (b) ya que dado el patrón de sombra por parte del tejado (f), el área disponible para instalar paneles fotovoltaicos es reducida y no alcanza a las potencias de los inversores.

En los tejados, se usarán soportes coplanares que aprovechen la inclinación de la propia cubierta, pudiéndose instalar filas contiguas sin requerimientos de espaciado entre ellas. Sin embargo, seguirá siendo importantes las sombras proyectadas por estructuras cercanas, teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para las cubiertas planas.

A continuación, se muestra la configuración con el mayor número de paneles solares que cumplan con las normas de distancias de sombras y distancia entre filas (en caso aplicable):



*Ilustración 16. Instalación máxima de paneles solares 'A'*

Dicha instalación contiene 162 paneles fotovoltaicos con sendos microinversores, alcanzando una potencia pico instalada de 72,9 kW y una potencia de salida máxima del sistema de 62 kW (basado en la suma de la potencia máxima de los inversores configurados a  $\cos \varphi = 1$ ). Según los datos obtenidos mediante PVGIS, dicha instalación produciría alrededor de 98.831,4 kWh anualmente; teniendo en cuenta un margen del 15% (valor aproximado conservador) en cuanto a la reducción de producción por sombras, la producción anual saldría a 84.006,7 kWh.

Es posible que los beneficios económicos de dicha instalación de alta potencia sean menores debido al uso de zonas de la cubierta con potencial de producción más bajo, además del hecho de que en primavera, otoño e invierno se use menos electricidad (dado que se usa el sistema de calefacción por gasóleo en lugar del sistema de refrigeración eléctrico por bomba de calor) y no se llegue a compensar la energía consumida desde la red. Bajo un régimen de compensación, esto es un problema de rendimiento económico dado que no se puede obtener beneficios sobre la energía vertida más allá de la energía absorbida desde la red.

Por ello, también se diseña otro modelo de instalación únicamente usando las zonas con mayor potencial de producción y minimizando el número de paneles con posibles sombras proyectadas por el resto del edificio, siguiendo las normas sobre espaciado entre paneles. Una instalación de este tipo sería más rentable económicamente al reducir la posibilidad de alcanzar el límite de compensación usando únicamente el emplazamiento más productivo de los paneles. Dos ejemplos posibles de dicha instalación se encuentran a continuación.

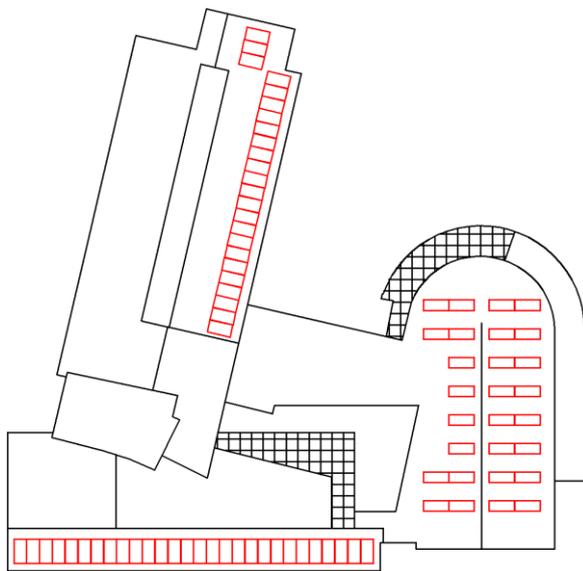


Ilustración 17. Instalación reducida de 36kW 'B'

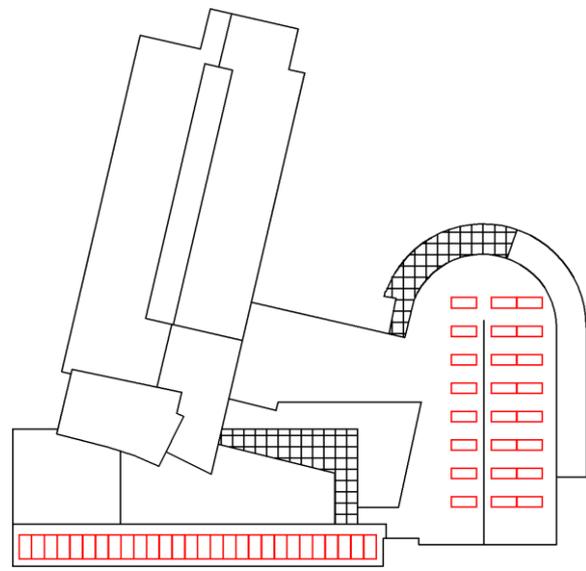


Ilustración 18. Instalación reducida de 23,4kW 'C'

Según PVGIS, las instalaciones 'B' y 'C' producirían 52.619,1 kWh y 35.360,1 kWh respectivamente. A dichas instalaciones se les aplica una reducción aproximada del 7% y del 5% por sombras, resultando producciones anuales de 48.935,7 kWh y 33.592,1 kWh respectivamente.

## *Subcapítulo 4.2. Sustitución de equipos existentes*

Ciertas instalaciones del edificio, en particular las instalaciones de calefacción y ACS son poco eficientes y empeoran drásticamente la calificación energética del edificio. Por ello, sería prudente idear una renovación de dichos sistemas y reemplazarlos por sistemas más eficientes que necesiten menor energía y que consuman menos y que a su vez garanticen las mismas prestaciones de capacidad de calentamiento del edificio y ACS.

#### ***4.2.1. Instalación de caldera de gasóleo más eficiente***

El edificio tiene dos calderas de gasóleo de 250kW y 125kW que proveen calor al edificio para calefacción y también calor para proveer de ACS al edificio. Dichas calderas son muy poco eficientes, con rendimientos de combustión inferiores al 80%, en comparación con las calderas modernas con rendimientos mayores del 90% y en algunos casos alcanzando valores de 95%.

Por ello, se plantea reemplazar las antiguas calderas por calderas nuevas, aprovechando el resto de la instalación en cuanto a suministro de combustible (gasóleo-C) y formato del calor producido (agua caliente a baja temperatura, acumulada en el caso de ACS). Para mejorar aún más la eficiencia del sistema, se instalará únicamente una caldera nueva de potencia similar a la suma de las dos calderas anteriores, ya que el rendimiento de combustión de las calderas de gasóleo aumenta con la potencia de la caldera.

La caldera a instalar sería de alta eficiencia, en torno al 95%. En particular, una opción podría ser la caldera Baxi CPA-BTH 380 (véase el Anexo II, apartado II.2.1), la cual tiene suficiente capacidad calorífica para reemplazar completamente a ambas calderas y cuenta con un rendimiento de combustión de 95,4% al 100% de carga, con el añadido de que dicha caldera puede usar gasóleo-C o gas natural como combustible, por lo que en un futuro se podría plantear el cambio de combustible a gas natural, lo cual ayudaría a mejorar el indicador de emisiones del edificio gracias al menor factor de emisiones de este combustible (0,252 kgCO<sub>2</sub>/kWh para gas natural contra 0,311 kgCO<sub>2</sub>/kWh para gasóleo-C).

Dicho cambio sería fácil de implementar, siendo la nueva caldera casi un sustituto inmediato del equipo existente ya que el resto de los requisitos necesarios (tanque de gasóleo-C, sistemas de extracción de residuos, contratos de proveedores y mantenimiento) ya están disponibles.

### ***Subcapítulo 4.3. Mejoras no analizadas***

El listado de mejoras descrito anteriormente no es una lista exhaustiva de todas las posibles mejoras que se le pueden realizar al edificio para mejorar su calificación energética. Sin embargo, varios tipos de mejoras no son posibles de plantear como proyecto sin saber más sobre las instalaciones del edificio, su uso o sus instalaciones técnicas, o no entran dentro del alcance teórico de este proyecto. Entre dichas posibles mejoras a plantear se encuentran:

- Cambio de luminarias halógenas a luminarias LED, los cuales tienen un rendimiento muy superior al de las luminarias convencionales (más de 100 lm/W en comparación con 10-20 lm/W), mejorando los indicadores de iluminación.
- Instalación de energía solar térmica para proveer de ACS sin emisiones ni consumo energético al edificio.
- Instalación de aislamiento térmico en el edificio de cara a las temporadas frías, reduciendo la cantidad de energía necesaria para poder mantener condiciones de confort en el interior del edificio.
- Cambio de la caldera nueva descrita en el apartado 4.2.1 a gas natural, reduciendo el indicador de emisiones en cuando a calefacción.
- Instalación complementaria/sustitutiva de bombas de calor o calderas de biomasa para calefacción y ACS, reduciendo los indicadores de calefacción y ACS.

# Capítulo 5. Recalificación energética

## Subcapítulo 5.1. Instalaciones fotovoltaicas

A continuación se resumen las características de las instalaciones propuestas:

Instalación	Nº de paneles (n)	Potencia pico ( $P_p$ ) [kWp]	Energía anual ( $E_A$ ) [kWh]	Producción anual por panel $E_A/n$ [kWh]
A	162	72,9	84006	518,56
B	80	36,0	48396	611,70
C	52	23,4	33592	646,00

Tabla 3. Resumen de características de las instalaciones posibles

En el programa de calificación CE3X únicamente es necesario introducir la producción de energía anual, sin necesitar de datos de consumo actuales. Dado que estos sistemas no intervienen en los sistemas de calefacción, refrigeración y ACS, sus calificaciones se verán inmunes a la instalación de sistemas fotovoltaicos y únicamente afectará a los indicadores globales. Las calificaciones globales obtenidas mediante dichas instalaciones es la siguiente:

Instalación	Consumo no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación consumo no renovable	Emisiones equivalentes [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación emisiones equivalentes
(caso base)	479,7		D	112,2		E
A	422,2	12,0%	D	102,5	8,7%	D
B	446,2	7,0%	D	106,6	5,1%	D
C	456,7	4,8%	D	108,3	3,5%	D

Tabla 4. Resultados de calificación energética de las instalaciones fotovoltaicas

Como se puede observar, todas las instalaciones fotovoltaicas reducen los indicadores globales de consumo de energía primaria no renovable y emisiones equivalentes de CO<sub>2e</sub>, en especial para la instalación A la cual conseguiría reducir ambos indicadores más del 10%, pero dado que la calificación base de consumo de energía no renovable está cerca del límite superior para la letra D, es difícil mejorar la calificación con cambios en el indicador. El caso opuesto se

puede observar con la calificación de emisiones equivalentes, donde la calificación se sitúa en el límite inferior de la letra E por lo que sería más fácil acceder a una calificación de D.

## Subcapítulo 5.2. Sustitución de caldera

Al reemplazar las calderas de gasóleo con una única caldera más eficiente y con mejor tecnología en cuanto a rendimiento y eficiencia, se consiguen reducir los indicadores de calefacción en cuanto a consumo de energía no renovable y emisiones equivalentes, los cuales a su vez afectan a los correspondientes indicadores globales.

Instalación	Consumo no renovable [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación consumo no renovable	Emisiones equivalentes [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación emisiones equivalentes
(caso base)	479,7		D	112,2		E
Caldera nueva	403,4	15,9%	D	92,11	17,9%	D

Tabla 5. Resultados globales de recalificación por reemplazo de caldera

Instalación	Consumo no renovable de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación consumo no renovable de calefacción	Emisiones equivalentes de calefacción [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación emisiones equivalentes de calefacción
(caso base)	321,8		E	84,87		E
Caldera nueva	246,8	23,3%	D	65,11	23,3%	D

Tabla 6. Resultados de calefacción de calificación por reemplazo de caldera

Instalación	Consumo no renovable de ACS [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación consumo no renovable de ACS	Emisiones equivalentes de ACS [kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Ahorro respecto al caso base	Calificación emisiones equivalentes de ACS
(caso base)	6,48		G	1,71		G
Caldera nueva	5,09	21,4%	G	1,34	21,4%	G

Tabla 7. Resultados de ACS de calificación por reemplazo de caldera

En las tablas mostradas más arriba se puede observar que el cambio de caldera es más eficaz en comparación con las instalaciones fotovoltaicas para mejorar las calificaciones globales y alcanzar un mayor ahorro energético y de emisiones. Este cambio de equipamiento sí que

mejora los índices secundarios de calefacción y ACS, aunque únicamente pudo reducir las calificaciones de calefacción (de E a D) mientras que la calificación de ACS sigue en G.

### *Subcapítulo 5.3. Medidas conjuntas*

Se puede alcanzar un mayor nivel de ahorro energético si se juntan las medidas de mejora, cada una añadiendo su ahorro correspondiente. Por ello, esta estrategia será la más eficaz en mejorar reducir el consumo de energía no renovable y emisiones equivalentes del edificio.

<i>Instalaciones</i>	<i>Consumo no renovable [kWh/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Ahorro respecto al caso base</i>	<i>Calificación consumo no renovable</i>	<i>Emisiones equivalentes [kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>]</i>	<i>Ahorro respecto al caso base</i>	<i>Calificación emisiones equivalentes</i>
(caso base)	479,7		D	112,2		E
A + caldera	345,9	27,9%	C	82,37	26,6%	C
B + caldera	369,9	22,9%	C	86,44	23,0%	D
C + caldera	380,4	20,7%	C	88,22	21,4%	D

*Tabla 8. Resultados globales de recalificación por reemplazo de caldera e instalaciones fotovoltaicas*

Como se puede observar, con las medidas detalladas anteriormente únicamente se puede alcanzar una calificación global de C en ambos indicadores principales mediante la instalación fotovoltaica A y el reemplazo de la caldera de gasóleo, ya que únicamente sumando los ahorros energéticos de ambos tipos de mejoras (y en particular con el aporte energético de la instalación fotovoltaica ‘A’) se puede alcanzar una calificación de emisiones equivalente de C. Los indicadores y calificaciones secundarios de calefacción y ACS no se ven afectados por las instalaciones fotovoltaicas, por lo que los datos detallados en la Tabla 6 y Tabla 7 siguen siendo aplicables a las instalaciones conjuntas.



## Capítulo 6. Estudio económico

### *Subcapítulo 6.1. Presupuesto y costes recurrentes*

#### *6.1.1. Presupuestos*

Debido a las diferentes capacidades de cada instalación, las diferentes instalaciones fotovoltaicas tienen diferentes precios iniciales, los cuales se resumen en la Tabla 9 a continuación.

<i>Instalación</i>	<i>Precio inicial [€]</i>
Instalación fotovoltaica 'A'	109.965,05
Instalación fotovoltaica 'B'	54.710,82
Instalación fotovoltaica 'C'	36.848,89
Sustitución de caldera de gasóleo-C	13.244,00

*Tabla 9. Presupuestos iniciales de las instalaciones*

Nótese que al contrario del formato del análisis de recalificación energética del Capítulo 5, en el análisis económico no se juntarán las instalaciones fotovoltaicas con la sustitución de la caldera de gasóleo-C. Esto se debe a una brecha fundamental entre los dos tipos de instalaciones: mientras que las instalaciones fotovoltaicas se estiman que tengan una vida útil en torno a los 30 años (en el caso de estas instalaciones, se usará 25 años, que es la garantía de rendimiento de los paneles solares), las calderas de gasóleo-C con uso intensivo durante gran parte de las temporadas frías se estiman que tengan una vida útil en torno a una década. La disparidad en las vidas útiles de las instalaciones, junto con la incertidumbre por parte del gobierno que rodea el uso de combustibles fósiles, hace que calcular la inversión de una caldera de gasóleo-C más allá de la vida útil de la caldera nueva (en el caso de esta instalación, se usará 10 años) no sea propio de un análisis de viabilidad económica correctamente planteado y redactado.

### 6.1.2. Gastos recurrentes

En la actualidad, se recomienda que las instalaciones fotovoltaicas mayores de 5-10kW se revisen y mantengan semestralmente para corregir desperfectos o roturas y garantizar el mejor rendimiento de la instalación. El coste de este mantenimiento para instalaciones de este tamaño de varias decenas de kilovatios se sitúa en torno a 1.000-2.000 € anuales aproximadamente, siendo el primer valor propio de instalaciones de 20-25kW de potencia y el segundo valor el correspondiente a instalaciones de 50-100kW. Por ello, se asignará un coste anual de operaciones y mantenimiento de 2.000 € a la instalación fotovoltaica ‘A’, 1.400 € a la instalación fotovoltaica ‘B’ y 1.000 € a la instalación fotovoltaica ‘C’.

En cuanto a las instalaciones convencionales de calefacción, el mantenimiento está cubierto por contratos de operaciones y mantenimiento. Dado que un contrato de este tipo ya existía antes del reemplazo para dar servicio a la caldera antigua, no se prevé ningún gasto recurrente adicional relacionado con el reemplazo de la caldera. Por una parte, incluso se podría decir que al ser un equipo técnico más reciente, sufrirá menos averías y las averías que sufra durante los primeros años los cubrirá la garantía de fabricación del fabricante/vendedor, por lo que la sustitución de la caldera puede resultar en ahorro para el propietario. Dada la naturaleza incierta de este tipo de ahorro (dado que no se puede prever cuando la caldera antigua se averiará y que tipo de avería será, dado que no se conoce el estado técnico de la caldera actual), se dificulta enormemente la cuantización del ahorro en mantenimiento del equipo de calefacción/ACS; por ende, no se tendrá en cuenta en este análisis económico, pero se podrá tener en cuenta de forma cualitativa por el propietario.

Los costes adicionales recurrentes y planeados de operación y mantenimiento para cada una de las instalaciones, al principio de la vida de la instalación, se detallan a continuación.

<i>Instalación</i>	<i>Coste recurrente adicional anual [€]</i>
Instalación fotovoltaica ‘A’	2.000,00
Instalación fotovoltaica ‘B’	1.400,00
Instalación fotovoltaica ‘C’	1.000,00
Sustitución de caldera de gasóleo-C	0,00

Tabla 10. Costes recurrentes iniciales planeados de las instalaciones

## Subcapítulo 6.2. Producción y ahorro energético

### 6.2.1. Instalaciones fotovoltaicas

Cada una de las instalaciones fotovoltaicas produce una cantidad de energía al año diferente, debido mayormente al número de módulos solares y el emplazamiento de éstos. Los datos de producción se encuentran resumidos en la Tabla 11.

<i>Instalación</i>	<i>Producción energética anual [kWh]</i>
Instalación fotovoltaica 'A'	84.006,7
Instalación fotovoltaica 'B'	48.935,7
Instalación fotovoltaica 'C'	33.592,1

Tabla 11. Producción energética anual base de instalaciones fotovoltaicas

Los paneles no cuentan con un rendimiento constante a lo largo de su vida útil, sino que el fabricante garantiza una curva de bajada de rendimiento máxima. En este caso, el rendimiento de los paneles se ve reducido en un 2% el primer año, y un 0,55% cada año adicional hasta los 25 años. La producción anual de cada una de las instalaciones durante su vida útil de 25 años se resume en la Tabla 12.

<i>Año</i>	<i>Instalación 'A'</i>	<i>Instalación 'B'</i>	<i>Instalación 'C'</i>
2022	84.006,66	48.935,74	33.592,06
2023	82.326,53	47.957,03	32.920,22
2024	81.864,49	47.687,88	32.735,46
2025	81.402,46	47.418,73	32.550,71
2026	80.940,42	47.149,59	32.365,95
2027	80.478,38	46.880,44	32.181,19
2028	80.016,35	46.611,29	31.996,44
2029	79.554,31	46.342,15	31.811,68
2030	79.092,27	46.073,00	31.626,93
2031	78.630,24	45.803,85	31.442,17
2032	78.168,20	45.534,71	31.257,41
2033	77.706,16	45.265,56	31.072,66
2034	77.244,13	44.996,41	30.887,90
2035	76.782,09	44.727,27	30.703,14
2036	76.320,05	44.458,12	30.518,39

2037	75.858,02	44.188,97	30.333,63
2038	75.395,98	43.919,83	30.148,87
2039	74.933,94	43.650,68	29.964,12
2040	74.471,91	43.381,53	29.779,36
2041	74.009,87	43.112,39	29.594,61
2042	73.547,83	42.843,24	29.409,85
2043	73.085,80	42.574,09	29.225,09
2044	72.623,76	42.304,95	29.040,34
2045	72.161,72	42.035,80	28.855,58
2046	71.699,69	41.766,65	28.670,82
2047	71.237,65	41.497,51	28.486,07

Tabla 12. Producción energética anual por instalación con reducción de rendimiento

En todos los años y para todas las instalaciones, se tiene que la producción de energía fotovoltaica es menor que el consumo eléctrico del edificio (en torno a 150.000 kWh anualmente), por lo que la energía producida se usará para reducir el consumo energético actual (no hace falta vender la energía sobrante a la red). Se escogerá el régimen económico de autoconsumo con excedentes con compensación simplificada, lo cual permite verter a la red la energía sobrante durante los instantes donde se produzca más que se consuma y después se compense con la energía absorbida de la red por el edificio cuando se produzca más energía de la que se consuma.

### 6.2.2. Sustitución de caldera de gasóleo-C

La renovación de las calderas de gasóleo-C antiguas con rendimientos de combustión en torno al 75% con una única caldera con rendimiento de combustión del 95% implica un gran ahorro energético en cuanto a calefacción y suministro de ACS. Para calcular el ahorro causado por esta mejora de las instalaciones, es necesario calcular el rendimiento medio estacional de las instalaciones de calefacción y ACS; dicho rendimiento parte del rendimiento de combustión de la caldera e incorpora elementos externos a éste como el aislamiento de la caldera y los patrones de uso de ésta. El rendimiento estacional se puede calcular mediante la siguiente fórmula, donde  $\eta_e$  es el rendimiento estacional,  $\eta_c$  es el rendimiento de combustión,  $P_n$  es la potencia nominal de la caldera,  $P_p$  es la potencia media real de producción y  $C_o$  es un coeficiente de operación (para calderas de 125 kW,  $C_o = 0,04$ ; para calderas de 250 kW,  $C_o = 0,03$ ; y para calderas de 380 kW,  $C_o = 0,02$ ):

$$\eta_e = \frac{\eta_c - 2}{1 + C_o \left( \frac{P_n}{P_p} - 1 \right)}$$

*Ecuación 3. Rendimiento medio estacional de una caldera por método indirecto. Fuente: IDAE07*

Sin embargo, no se conoce la potencia media real de producción de ninguna de las dos calderas actuales. Por ello, este valor se obtendrá mediante CE3X, el cual permite calcular un valor aproximado de rendimiento medio estacional de las calderas usando los datos de patrón de uso del edificio introducidos previamente y otros parámetros por defecto, obteniendo unos valores de rendimiento medio estacional de 66,5% para la caldera antigua de 250 kW, 69,1% para la caldera antigua de 125 kW y 87,9% para la caldera nueva de 380kW. Para obtener un valor único en el caso de las calderas antiguas, se calculará un valor de rendimiento medio estacional ponderado en base a las potencias de las calderas, obteniendo un valor promedio de rendimiento medio estacional para la instalación de calefacción y ACS de 67,4%.

La instalación actual consume anualmente en torno a 35.000 litros de gasóleo-C (350.000 kWh con un factor de paso de 10kWh/L) para calefacción y ACS. Para obtener la demanda de energía térmica de las calderas por parte del edificio, se multiplica el consumo bruto de energía por el rendimiento medio estacional promedio de la instalación lo cual mediante el rendimiento medio estacional promedio de la instalación antigua se obtiene que el calor útil emitido por las calderas antiguas y demandado por el edificio anualmente es de 235.900 kWh. Se asume que el patrón de uso del edificio y la construcción de éste no cambian, y que por lo tanto esta cifra se mantiene constante durante los años de vida útil de las instalaciones de calefacción y ACS. Revirtiendo el cálculo anterior, se obtiene que el consumo anual de energía bruta por la nueva caldera sería de 268.373 kWh o 26,837 L de gasóleo-C, ahorrando en torno a 81.627 kWh, o 8.162 L al año (un ahorro del 23,3%). A falta de desconocimiento de la evolución temporal del rendimiento de la caldera, se asumirá que el rendimiento de la caldera es constante durante su vida útil.

## Subcapítulo 6.3. Cálculo de ahorro económico

### 6.3.1. Consideraciones previas

Para calcular el rendimiento económico del tipo de interés de las instalaciones, es necesario tener varias consideraciones en base a los aspectos económicos del proyecto. Uno de ellos es que los precios se ajustarán a la inflación en base a la variación anual del IPC el cual se puede estimar a largo plazo con un valor aproximado de 2,5% (estimaciones de 2% o menos eran comunes en años anteriores en proyectos similares, pero la subida en el tipo de inflación hace que haya que subir los valores estimatorios), el cual también será usado como tipo de inflación  $PI$ . A su vez, se usará dicha cifra junto a los tipos de interés para inversiones comerciales inmobiliarias  $e$  (1,5% (BE\_\_22)) y la prima de riesgo actual  $PR$  (110 puntos básicos o 1,10% (EXPA22a)) para obtener el tipo de descuento que se usará para calcular el valor anual neto (VAN) y el PR (periodo de retorno) de la instalación. El tipo de descuento se calcula mediante la siguiente fórmula, la cual permite comparar la inversión con las inversiones financieras (mediante los términos  $e$  y  $PR$ ) y también contra la inflación (mediante el término  $PI$ ).

$$i = e + PI + PR$$

Ecuación 4. Fórmula del tipo de descuento

Esta ecuación da como resultado un tipo de descuento de 5,1%, el cual se acerca al observado en otros proyectos similares. Este tipo de interés se usará para calcular el VAN, o el valor actual del beneficio neto de la inversión. La ecuación para calcular el VAN es la siguiente, siendo  $n$  el número de años,  $FC_j$  el flujo de caja del periodo  $j$  e  $I_0$  la inversión inicial del proyecto.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_0$$

Ecuación 5. Fórmula del VAN

La TIR, o tasa interna de retorno, se calcula como el tipo de interés  $i$  que hace que el VAN de la inversión sea cero. A su vez, el PR se describe como el periodo después de la realización del proyecto hasta que se recupere el valor de la inversión inicial. La duración de este periodo se determina usando la fórmula del VAN y variando el número de periodos hasta llegar a un VAN nulo.

### 6.3.2. Instalaciones fotovoltaicas

Para relacionar el ahorro energético con el ahorro económico (asimilable a flujos de caja equivalentes) es necesario tener un precio de la energía eléctrica. En los tiempos actuales, debido al alto coste de los combustibles fósiles, es difícil predecir como fluctuará el precio de la energía en los próximos años. Por ello, siguiendo las recomendaciones sobre previsiones del precio de la electricidad los cuales prevén que seguirá subiendo paulatinamente, se asumirá que el precio de la energía no bajará drásticamente y seguirá aumentando. Por ello, se asumirá que el precio de la energía eléctrica a largo plazo será el precio medio del último mes (mayo de 2022), de 187,13 €/MWh (OMIE22), una estimación conservadora (ya que mayores precios mejoran el rendimiento económico de las instalaciones fotovoltaicas).

Estableciendo esto y aplicando la variación del IPC del 2,5% anual establecida anteriormente, se obtiene los siguientes ahorros económicos por tipo de instalación.

Año	Instalación 'A'	Instalación 'B'	Instalación 'C'
2022	15.720,17 €	9.157,35 €	6.286,08 €
2023	15.790,91 €	9.198,55 €	6.314,37 €
2024	16.094,84 €	9.375,60 €	6.435,91 €
2025	16.404,10 €	9.555,75 €	6.559,57 €
2026	16.718,77 €	9.739,05 €	6.685,40 €
2027	17.038,92 €	9.925,55 €	6.813,42 €
2028	17.364,62 €	10.115,28 €	6.943,66 €
2029	17.695,96 €	10.308,29 €	7.076,15 €
2030	18.033,02 €	10.504,63 €	7.210,93 €
2031	18.375,86 €	10.704,35 €	7.348,03 €
2032	18.724,58 €	10.907,48 €	7.487,47 €
2033	19.079,25 €	11.114,09 €	7.629,29 €
2034	19.439,96 €	11.324,20 €	7.773,53 €
2035	19.806,77 €	11.537,88 €	7.920,21 €
2036	20.179,77 €	11.755,16 €	8.069,36 €
2037	20.559,04 €	11.976,10 €	8.221,02 €
2038	20.944,67 €	12.200,73 €	8.375,22 €
2039	21.336,72 €	12.429,11 €	8.532,00 €
2040	21.735,29 €	12.661,29 €	8.691,37 €
2041	22.140,45 €	12.897,30 €	8.853,39 €
2042	22.552,29 €	13.137,21 €	9.018,07 €

2043	22.970,88 €	13.381,04 €	9.185,45 €
2044	23.396,30 €	13.628,86 €	9.355,57 €
2045	23.828,64 €	13.880,71 €	9.528,45 €
2046	24.267,97 €	14.136,63 €	9.704,12 €
2047	24.714,38 €	14.396,67 €	9.882,63 €

Tabla 13. Ahorro económico anual bruto por instalación con revalorización por variación del IPC

A continuación, se sustrae a dichas cantidades el coste de operaciones y mantenimiento anual, también sujeto a la subida del IPC. Dichas cantidades resultantes se pueden asimilar a un flujo de caja por ser el ahorro neto del propietario causado por la instalación solar.

Año	Instalación 'A'	Instalación 'B'	Instalación 'C'
2022	13.720,17 €	7.757,35 €	5.286,08 €
2023	13.740,91 €	7.763,55 €	5.289,37 €
2024	13.993,59 €	7.904,73 €	5.385,28 €
2025	14.250,32 €	8.048,11 €	5.482,68 €
2026	14.511,14 €	8.193,72 €	5.581,58 €
2027	14.776,10 €	8.341,57 €	5.682,01 €
2028	15.045,23 €	8.491,71 €	5.783,96 €
2029	15.318,59 €	8.644,13 €	5.887,47 €
2030	15.596,21 €	8.798,87 €	5.992,53 €
2031	15.878,14 €	8.955,94 €	6.099,16 €
2032	16.164,41 €	9.115,37 €	6.207,39 €
2033	16.455,08 €	9.277,17 €	6.317,21 €
2034	16.750,18 €	9.441,36 €	6.428,64 €
2035	17.049,74 €	9.607,96 €	6.541,70 €
2036	17.353,82 €	9.777,00 €	6.656,39 €
2037	17.662,45 €	9.948,48 €	6.772,72 €
2038	17.975,66 €	10.122,42 €	6.890,72 €
2039	18.293,49 €	10.298,85 €	7.010,38 €
2040	18.615,97 €	10.477,77 €	7.131,71 €
2041	18.943,15 €	10.659,19 €	7.254,74 €
2042	19.275,05 €	10.843,14 €	7.379,45 €
2043	19.611,71 €	11.029,63 €	7.505,87 €
2044	19.953,16 €	11.218,66 €	7.634,00 €
2045	20.299,42 €	11.410,25 €	7.763,84 €
2046	20.650,52 €	11.604,41 €	7.895,40 €
2047	21.006,49 €	11.801,15 €	8.028,69 €

Tabla 14. Ahorro económico anual neto por instalación con revalorización por variación del IPC

Dichos valores se usarán para calcular el VAN, la TIR y el PR de las instalaciones, los cuales se describen a continuación.

<i>Instalación</i>	<i>VAN [€]</i>	<i>TIR [%]</i>	<i>PR [años]</i>
Instalación 'A'	132.734,32	15,48%	8,23
Instalación 'B'	82.121,13	17,91%	6,97
Instalación 'C'	56.325,83	18,14%	6,87

Tabla 15. Resumen de las características económicas de las instalaciones fotovoltaicas

Los valores de TIR y PR son similares a aquellos obtenidos en instalaciones similares, saliendo todos los modelos de instalación muy rentables (todas poseen un VAN superior al valor de la inversión original). Las instalaciones pequeñas tienen un rendimiento económico relativo mayor, con mayores TIR y PR más bajos; sin embargo, dado que son instalaciones de potencia reducida, el beneficio económico absoluto es menor. Es por ello que desde una perspectiva económica, se recomienda la instalación de cualquiera de las instalaciones fotovoltaicas, siendo el único delimitante de cual modelo de instalación la cantidad inicial dispuesta a invertir por el propietario.

### 6.3.3. *Sustitución de calderas de gasóleo-C*

Al igual que las instalaciones fotovoltaicas, el precio del gasóleo-C se ha duplicado en los últimos 8 meses (EXPA22b) y al igual que la energía eléctrica, el precio se prevé que suba paulatinamente. Por ello, se aplica el criterio conservador y se toma el precio medio del mes pasado (mayo de 2022), 1,516 €/L (EXPA22b) como el precio del gasóleo-C durante el periodo de vida útil de la nueva caldera.

A ese precio base, el ahorro de gasóleo-C se sitúa en 12.373,59 € al año, el cual ajustando al IPC para cada año resulta en los ahorros nominales resumidos en la Tabla 16 a continuación.

<i>Año</i>	<i>Ahorro</i>
2022	12.373,59 €
2023	12.682,93 €
2024	13.000,01 €
2025	13.325,01 €
2026	13.658,13 €
2027	13.999,58 €

2028	14.349,57 €
2029	14.708,31 €
2030	15.076,02 €
2031	15.452,92 €
2032	15.839,24 €

Tabla 16. Ahorro económico anual por cambio de calderas

Con estos datos, es posible calcular el rendimiento económico de esta instalación, el cual se resume en la Tabla 17 a continuación.

Instalación	VAN [€]	TIR [%]	PR [años]
Cambio de calderas	107.219,62	1460%	1,07

Tabla 17. Resumen de las características económicas del cambio de caldera de gasóleo-C

Se puede observar que es una inversión muy bien acertada económicamente, con un rendimiento cercano a lo imposible (VAN más de ocho veces la inversión inicial, TIR de casi 1500%, PR de un año escaso). Sabiendo que los altos precios del gasóleo-C pueden estar distorsionando los resultados (pudiendo ser los indicadores económicos muy sensibles a los cambios en el nivel de precios) y que el PR es de apenas un año, en el cual el efecto del cambio del IPC y del tipo de descuento no ha tenido un gran efecto, se ha repetido el análisis con varios niveles de precios del gasóleo-C entre 0,8 €/L y 1,8 €/L, calculando los tres indicadores económicos para cada precio, y así poder determinar si la sensibilidad de dicho análisis frente al precio del combustible es la causa de estos resultados.

Precio	VAN [€]	TIR [%]	PR [años]
0,8 €/L	50.325,19	102%	2,06
1,0 €/L	66.217,49	167%	1,64
1,2 €/L	82.109,79	294%	1,36
1,4 €/L	98.002,09	647%	1,16
1,6 €/L	113.894,38	7246%	1,01
1,8 €/L	129.786,68	N/A	<1

Tabla 18. Indicadores económicos anuales para distintos precios de combustible

Al usar años como periodos económicos base para el análisis, los métodos de cálculo de TIR se ven afectados y por tanto el TIR tiende asintóticamente al infinito al acercarse a valores de PR cercanos a 1 año (la herramienta de cálculo usada, Microsoft Excel, dio error de número

demasiado grande al calcular el TIR con el precio de 1,8 €/L, ya que el TIR sería infinito lo cual lo hace incalculable aritméticamente).

Para intentar solventar el problema, se usarán meses como el periodo económico base para el análisis. Como no se conoce el patrón exacto de consumo de gasóleo-C y para aproximararlo al análisis económico anual, se asumirá que todos los meses se consume la misma cantidad de gasóleo-C, 680,16 L/mes. El incremento del IPC mensual será de 0,206% y el tipo de descuento será de 0,415%, obtenidos mediante la Ecuación 6 de tantos equivalentes para intereses compuestos.

$$1 + i_{anual} = (1 + i_{mensual})^{12}$$

*Ecuación 6. Tantos equivalentes mensuales para tipos de interés compuestos*

Los resultados del análisis económico con periodos mensuales (precio de combustible de 1,516 €/L) se muestran en la Tabla 19. El TIR anual se ha calculado mediante la Ecuación 6.

<i>Instalación</i>		<i>VAN [€]</i>	<i>TIR [% mensual]</i>	<i>TIR [% anual]</i>	<i>PR [meses]</i>	<i>PR [años]</i>
Cambio de calderas	de	96.325,48 €	8,66%	271%	13,01	1,08

*Tabla 19. Resumen de las características económicas del cambio de caldera de gasóleo-C, periodos mensuales*

Como se puede observar, los resultados no son los mismos (incluyendo el VAN), debido al cambio de distribución de los ahorros (en el método anual, el ahorro de un año se descuenta una vez al año, mientras que con el método mensual se descuenta cada mes). Esto hace que cada análisis dé resultados ligeramente diferentes, pero dado que ambos son factibles y aspectos como el VAN son diferentes por menos del 15% y el PR en menos de un 1%, no se considera que ninguno de los dos sea erróneo sino que cada uno maneja la falta de información (en este caso, la falta de información sobre el consumo mensual de gasóleo-C) de manera distinta. En todo caso, se puede afirmar definitivamente que la sustitución de caldera de gasóleo-C es una inversión acertada dado el bajísimo rendimiento de las antiguas calderas.



## Capítulo 7. Impacto ambiental

Mediante las mejoras descritas en el Capítulo 4, se consigue alcanzar diversos niveles de ahorro energético y/o contribuciones de energía renovable para autoconsumo demostrado en el Capítulo 5, los cuales se han demostrado que son económicamente ventajosos para el propietario en el Capítulo 6. Todas estas mejoras son ciertamente beneficiosas para el propietario y los usuarios del edificio, pero también son beneficiosas para la sociedad y el medioambiente en general gracias a la capacidad de reducción de emisiones de gases nocivos y contaminantes al medioambiente.

### *Subcapítulo 7.1. Instalaciones fotovoltaicas*

Mediante la autoproducción y autoconsumo de energía limpia, las instalaciones fotovoltaicas pueden reducir el impacto medioambiental del consumo energético eléctrico. Por kilovatio-hora, la energía eléctrica en España es de las más contaminantes, con un factor de paso de 0,357 kgCO<sub>2</sub>/kWh de media nacional de energía final (MINE16), únicamente superada por el carbón con 0,472 kgCO<sub>2</sub>/kWh de energía final (MINE16). Esto se debe a las ineficiencias de la producción de energía eléctrica mediante combustibles fósiles, ya que las centrales térmicas tienen rendimientos térmicos en torno a 30-35%. Añadiendo la creciente electrificación de la sociedad, se tiene que una de las mejores formas de mejorar el impacto medioambiental es mediante tecnologías de producción de energía renovable para autoconsumo.

Con las instalaciones fotovoltaicas diseñadas en este proyecto, se ahorra decenas de miles de kilovatios al año. A largo plazo se hace difícil estimar la mezcla energética de España, dado los cambios recientes y las tendencias subyacentes del sector, pero asumiendo que el factor de paso de la energía eléctrica se mantiene constante, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en kgCO<sub>2</sub> causada por las instalaciones fotovoltaicas se muestra en la Tabla 20 a continuación.

<i>Año</i>	<i>Reducción de emisiones, instalación 'A' [kgCO<sub>2</sub>]</i>	<i>Reducción de emisiones, instalación 'B' [kgCO<sub>2</sub>]</i>	<i>Reducción de emisiones, instalación 'C' [kgCO<sub>2</sub>]</i>
2022	29.990	17.470	11.992
2023	29.391	17.121	11.753
2024	29.226	17.025	11.687
2025	29.061	16.928	11.621
2026	28.896	16.832	11.555
2027	28.731	16.736	11.489
2028	28.566	16.640	11.423
2029	28.401	16.544	11.357
2030	28.236	16.448	11.291
2031	28.071	16.352	11.225
2032	27.906	16.256	11.159
2033	27.741	16.160	11.093
2034	27.576	16.064	11.027
2035	27.411	15.968	10.961
2036	27.246	15.872	10.895
2037	27.081	15.775	10.829
2038	26.916	15.679	10.763
2039	26.751	15.583	10.697
2040	26.586	15.487	10.631
2041	26.422	15.391	10.565
2042	26.257	15.295	10.499
2043	26.092	15.199	10.433
2044	25.927	15.103	10.367
2045	25.762	15.007	10.301
2046	25.597	14.911	10.235
2047	25.432	14.815	10.170
<b>Total</b>	<b>715.271</b>	<b>416.661</b>	<b>286.018</b>

*Tabla 20. Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por instalaciones fotovoltaicas*

Como se puede observar, todas las instalaciones reducen las emisiones atmosféricas de CO<sub>2</sub> en varias toneladas al año, pudiendo acumular varios cientos de toneladas de CO<sub>2</sub> durante su vida útil.

Cabe destacar una de las mayores preocupaciones medioambientales respecto a los paneles fotovoltaicos: el proceso de fabricación y reciclaje. Los paneles fotovoltaicos están fabricados

con materiales y procesos exóticos, nocivos y difíciles de procesar dificultan el proceso de reciclaje y hacen que el proceso de fabricación sea altamente contaminante (y no solo por el alto coste energético de producir los paneles solares, sino también por los propios procesos industriales usando químicos tóxicos y nocivos para el medio ambiente). Este tipo de contaminación es difícil de controlar y cuantificar, pero se debería tener en cuenta de forma cualitativa durante el proceso de diseño y construcción de los sistemas fotovoltaicos.

## *Subcapítulo 7.2. Sustitución de calderas*

El gasóleo es uno de los combustibles fósiles líquidos industriales más contaminantes, con un coeficiente de paso calculado de 0,311 kgCO<sub>2</sub>/kWh (MINE16), en comparación con los combustibles gaseosos como el GLP y el gas natural, con factores de paso de 0,254 kgCO<sub>2</sub>/kWh y 0,252 kgCO<sub>2</sub>/kWh respectivamente (MINE16). Además, con este combustible no es solo un problema las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que las emisiones de óxidos nitrosos, compuestos de azufre y materia particulada también son importantes componentes de las emisiones producidas durante la quema de este combustible.

Mediante el cambio de calderas, se consigue un ahorro de 81.627 kWh anualmente, lo cual se traduce en una reducción de emisiones de 25.386 kgCO<sub>2</sub> anualmente. Asumiendo que el rendimiento de la caldera no empeora tras el paso de los años, esto se traduce en una reducción total de emisiones de 253.860 kgCO<sub>2</sub> durante la vida útil de la caldera nueva. Además, se tiene en cuenta de forma cualitativa la disminución de emisiones de los demás gases nocivos, ayudando aún más a mejorar el impacto ambiental de esta mejora; esto no solo viene a causa de la reducción del consumo de combustible, sino que las calderas nuevas consiguen una mejor combustión del gasóleo-C y reducen las emisiones de los otros gases nocivos causados por la combustión incompleta o incorrecta del combustible debido a un diseño anticuado de la unidad térmica o desgaste por uso habitual.



## Capítulo 8. Bibliografía

- [MITE22] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), “La Energía en España”, Madrid. 2022
- [MUDG13] Mugdal, S., L. Lyons y F. Cohen, “Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries”, Informe preparado para la Comisión Europea. 2013
- [MINE15] Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR), “Calificación de la eficiencia energética de los edificios”, Documento Reconocido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2015
- [MINE16] Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR), “Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España”, Documento Reconocido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2016.
- [MITE20] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), “Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética”, Documento Reconocido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2020.
- [NAVA12] Navarro Martí, O., “Estudio de la viabilidad económica en la introducción de mejoras energéticas en un edificio determinado”, Proyecto final de máster, Universitat Politècnica de Valencia. 2012.
- [HULD12] Huld, T. y I. Pinedo-Pascua, “Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries”, Mapa, Joint Research Centre (Comisión Europea). 2012.
- [IDAE20] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), “Guía Técnica de Energía Solar Térmica”, Informe, Madrid. 2020.

- [CSS\_21] Center for Sustainable Systems, “Photovoltaic Energy Factsheet”, School for Environment & Sustainability, University of Michigan. 2021.
- [HASH16] Hashim, E. T. y A. A. Abbood, “Temperature Effect on Power Drop of Different Photovoltaic Modules”, Journal of Engineering, vol. 22, No. 5. Mayo 2016.
- [FAMO15] Famoso, F., R. Lanzafame, S. Maenza y P. F. Scandura, “Performance comparison between micro-inverter and string-inverter Photovoltaic Systems”, Energy Procedia vol. 81, pp. 526-539. 2015.
- [IDAE11] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”, Informe, Madrid. 2011.
- [MFOM19] Ministerio de Fomento, “Documento Básico HE: Ahorro de energía”, Documento Básico del Código Técnico de Edificación. 2019
- [IDAE07] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), “Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas”, Guía técnica, Madrid. 2007.
- [BE\_\_22] Banco de España (BE), “Estadísticas de los tipos de interés aplicados por las entidades de crédito de la zona del euro: marzo de 2022”, Nota de prensa, Madrid. 2022.
- [EXPA22a] Expansión, “Prima de riesgo de España”, Datos macroeconómicos, Madrid. 2022.
- [OMIE22] OMI, Polo Español S.A. (OMIE), “Mínimo, medio y máximo precio de la casación del mercado diario (Mibel - 2022)”, Datos macroeconómicos, Madrid. 2022.
- [EXPA22b] Expansión, “Precios de los derivados del petróleo: España”, Datos macroeconómicos, Madrid. 2022.

## Capítulo 9. Anejos

### *Anejo I. Objetivos de desarrollo sostenible*

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de objetivos técnicos, económicos y sociales delimitados por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas con el objetivo de fomentar el desarrollo económico y social de una manera sostenible a largo plazo con el medioambiente y con las distintas sociedades existentes en el mundo. Dentro de dicho conjunto de objetivos, se han delimitado treinta objetivos principales, tales como acabar con la pobreza, igualdad de género, uso de energía no contaminante, o no perjudicar a los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Dadas las circunstancias actuales, uno de los objetivos más importantes a nivel político y económico es el objetivo ODS7: energía asequible y no contaminante, el cual describe la importancia del acceso a la energía por parte de las poblaciones más desfavorecidas y que la energía producida sea mediante materias y métodos que respeten el medioambiente (con cierto énfasis en las tecnologías de producción energética renovables) y las sociedades donde dicha energía (o su materia prima) se produce/extrae, utiliza y consume. Este objetivo es de especial importancia en el ambiente energético y económico de hoy, donde existe una escasez de energía que aumenta drásticamente el precio de la energía en forma de energía eléctrica y combustibles fósiles y restringe su uso por parte de colectivos con menores recursos económicos y técnicos.

Dados los objetivos de este proyecto, de diseñar un sistema de producción de energía renovable y encontrar otras maneras de ser más eficiente con la energía, es razonable que este ODS sea parte del objetivo principal del proyecto. En particular, se está ayudando a cumplir la meta 7.2: aumentar sustancialmente la proporción de energías renovables en el conjunto de energía global para el año 2030, ya que al instalar capacidad de producción de energía renovable fotovoltaica, aumenta ligeramente la proporción de energía renovable usada respecto a la energía total. Esto favorece al ámbito económico, ya que como se ha demostrado en el Capítulo 6 es una inversión favorable a largo plazo con buena rentabilidad. Dichas instalaciones también mejoran incrementalmente el patrón de consumo de energía de la red, cuya escasez es parte de la causa de los elevados precios de la energía eléctrica que dan lugar a que la gente con bajos

recursos económicos no se puedan permitir la energía eléctrica como necesidad básica en la sociedad moderna cada vez más dependiente de este tipo de energía.

Las instalaciones fotovoltaicas también tienen un efecto positivo en el ámbito ambiental, tal como se comprobó en el Capítulo 7 gracias a las reducciones de emisiones. La mezcla energética primaria para la energía eléctrica final en España es altamente contaminante, ya que depende en un gran porcentaje en centrales térmicas de combustibles fósiles. Sustituyendo parte del consumo del edificio de energía absorbida de la red nacional con energía renovable autoproducida en el mismo edificio, se consigue reducir significativamente la huella de carbono del edificio a lo largo de la vida útil de la instalación fotovoltaica y del edificio.

A su vez, mediante la sustitución de las calderas antiguas de gasóleo-C se ayuda a alcanzar la meta 7.3: Duplicar el ritmo de crecimiento de la eficiencia energética antes del año 2030. La caldera antigua era ineficiente (y dada su ineficiencia de combustión, probablemente altamente contaminante), consumiendo 23% más gasóleo-C que una caldera moderna del mismo combustible. Al igual que las instalaciones fotovoltaicas, el cambio de calderas es una mejora tanto económica como medioambiental: dado el alto precio de los combustibles fósiles en la actualidad, el ahorro de combustible es suficiente para devolver el valor de la inversión en unos pocos años, siendo la vida útil de las calderas de gasóleo-C en torno a los diez años, con ahorros económicos a lo largo de la vida útil de la instalación de varias veces la inversión inicial. El ahorro de combustible también se traduce en una reducción de las emisiones de la instalación de calefacción y ACS, con una reducción similar a la del consumo de combustible (23%) en emisiones de CO<sub>2</sub> y una reducción cualitativa en otros gases y materias nocivas tales como óxidos nitrosos y materia particulada, los cuales se han demostrado ser perjudiciales para el ser humano y el medioambiente en bajas dosis.

## *Anejo II. Seguridad y salud*

### *Subanejo II.1. Consideraciones previas*

La seguridad laboral es un aspecto importante de las modificaciones de los edificios, debido a los varios peligros que se puedan encontrar los trabajadores durante el curso de la obra. Por ello, en ciertos proyectos es necesario realizar un estudio de seguridad y salud antes de proceder con la construcción. La obligatoriedad de este informe se detalla en el Real Decreto 1627/1997 así como los contenidos que deberá llevar éste, los cuales incluyen una memoria reducida del proyecto, planos y mediciones de las instalaciones donde vayan a estar los obreros, etc. En su defecto, los proyectos más pequeños únicamente realizarán un estudio básico de seguridad y salud, en el cual únicamente se delimita los peligros a encontrar en el entorno de trabajo y como reducir el riesgo al que se enfrentan los operarios.

Este proyecto no alcanza ninguno de los requisitos enumerados en esta ley para hacer obligatorio un estudio de seguridad y salud, por lo que se realizará un estudio básico de seguridad y salud.

<i>Requisito del RD 1627/1997</i>	<i>Estado del proyecto actual</i>
a) Que el presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto sea igual o superior a 75 millones de pesetas (450.759,10 euros)	Todas las versiones del proyecto tienen un presupuesto de 109.965,05 euros o menos
b) Que la duración estimada sea superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente	Se estima que la obra dure en torno a quince días con ocho trabajadores
c) Que el volumen de mano de obra estimada, entendiéndose por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, sea superior a 500	Se estima que el volumen de obra sea de 120 días trabajados
d) Las obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas y presas.	Los trabajos se realizan en el interior del edificio y en azotea

## ***Subanejo II.2. Estudio básico de seguridad y salud***

- Riesgo por caída a distinto nivel
  - Los operarios utilizarán arneses de seguridad firmemente anclados mediante cuerda de seguridad al edificio
  - Los operarios utilizarán calzado con suela antideslizante que reduzca la posibilidad de un deslizamiento
- Riesgo por caída al mismo nivel
  - Los operarios utilizarán calzado con suela antideslizante que reduzca la posibilidad de un deslizamiento
  - Se evitará en la mayor medida posible la exposición de los operarios a condiciones que favorezcan caídas (suelos mojados, con polvo/tierra suelta/arena), ya sea eliminando el elemento deslizante o evitando los movimientos por la zona afectada
- Riesgo por electrocución
  - Los operarios utilizarán herramientas de mano aptas para trabajar en instalaciones eléctricas de tensión de línea
  - En la medida de lo posible, el suministro eléctrico a las instalaciones permanecerá cortado hasta que se garantice que los operarios no están realizando trabajos en la instalación
- Riesgo por cortes con material cortante
  - Los operarios utilizarán guantes de protección que protejan contra elementos cortantes menores
- Riesgo por punzadas con material cortante
  - Los operarios utilizarán guantes de protección que proteja contra elementos punzantes menores
  - Los operarios utilizarán calzado con suela que, gracias a sus dimensiones o su construcción, proteja al operario contra elementos punzantes en el suelo
- Riesgo por exposición a ruido
  - Los operarios que manipulen herramientas eléctricas o neumáticas o que se encuentren en las proximidades de éstas deberán usar elementos de protección auditiva.

- Riesgo por proyección de partículas
  - Los operarios que manipulen herramientas eléctricas o neumáticas deberán usar elementos de protección visual (gafas de protección contra impactos de partículas)
  - Los operarios que manipulen herramientas eléctricas o neumáticas deberán usar vestimenta adecuada para la proyección de polvo y partículas pequeñas
- Riesgo contra caída de objetos y atrapamiento por objetos
  - Los operarios usarán cascos de seguridad contra golpes e impactos
  - Los elementos voluminosos o pesados (estructuras de sujeción, paneles fotovoltaicos, etc.) se atarán a una cuerda de seguridad anclada al edificio



# Anejo III. Capacidad de producción en cubiertas y tejados

## Subanejo III.1. Cubiertas de evacuación, datos de PVGIS

### Summary

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	40.429,-3.666
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	34
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	1553.32
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	2097.86
Year-to-year variability [kWh]:	48.37
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.6
Spectral effects [%]:	0.49
Temperature and low irradiance [%]:	-12.03
Total loss [%]:	-25.96

*Cubierta inclinada, parámetros estándar*

## Subanejo III.2. Tejados, datos de PVGIS

### Summary

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	40.429,-3.666
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	22
Azimuth angle [°]:	103
Yearly PV energy production [kWh]:	1201.79
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1641.7
Year-to-year variability [kWh]:	36.79
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-3.96
Spectral effects [%]:	0.3
Temperature and low irradiance [%]:	-11.63
Total loss [%]:	-26.8

*Tejados (a), (c) y (d)*

### Summary

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	40.429,-3.666
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	22
Azimuth angle [°]:	-77
Yearly PV energy production [kWh]:	1340.8
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1809.95
Year-to-year variability [kWh]:	32.27
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-3.26
Spectral effects [%]:	0.35
Temperature and low irradiance [%]:	-11.26
Total loss [%]:	-25.92

*Tejado (b)*

**Summary**

↓

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	40.429,-3.666
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	22
Azimuth angle [°]:	-179
Yearly PV energy production [kWh]:	970.87
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1348.52
Year-to-year variability [kWh]:	15.93
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-6.06
Spectral effects [%]:	0.12
Temperature and low irradiance [%]:	-11
Total loss [%]:	-28

*Tejado (e)*

**Summary**

↓

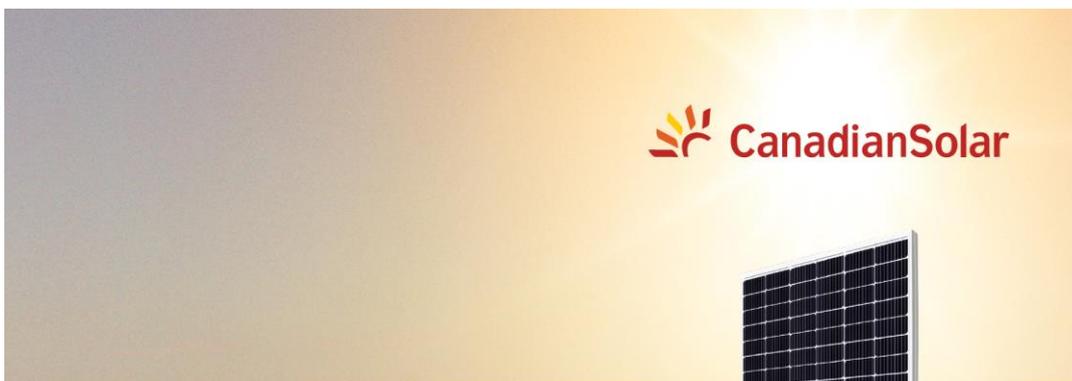
Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	40.429,-3.666
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	17
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	1483.32
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	2005.36
Year-to-year variability [kWh]:	41.55
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.95
Spectral effects [%]:	0.41
Temperature and low irradiance [%]:	-11.74
Total loss [%]:	-26.03

*Tejado (f)*

## Anejo IV. Fichas técnicas

### Subanejo IV.1. Fichas técnicas de sistemas fotovoltaicos

#### PANELES SOLARES



### HiKu

HIGH POWER MONO PERC MODULE

435 W ~ 465W

CS3W-435 | 440 | 445 | 450 | 455 | 460 | 465MS

#### MORE POWER



26 % more power than conventional modules



Up to 4.5 % lower LCOE  
Up to 2.7 % lower system cost



Low NMOT:  $41 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.34 % / °C



Better shading tolerance

#### MORE RELIABLE



Lower internal current,  
lower hot spot temperature



Minimizes micro-crack impacts



Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 3600 Pa\*



Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship\*



Linear Power Performance Warranty\*

1<sup>st</sup> year power degradation no more than 2%  
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / MCS / INMETRO / UKCA  
FSEC (US Florida) / UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



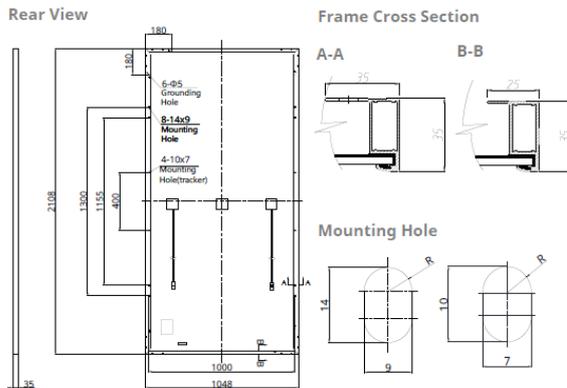
\* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 55 GW deployed around the world since 2001.

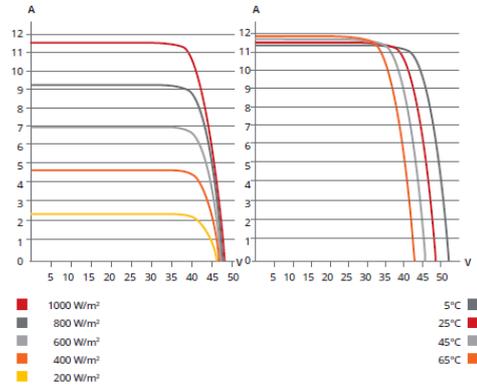
\* For detailed information, please refer to Installation Manual.

CSI Solar Co., Ltd.  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

**ENGINEERING DRAWING (mm)**



**CS3W-435MS / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

CS3W	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS	460MS	465MS
Nominal Max. Power (Pmax)	435 W	440 W	445 W	450 W	455 W	460 W	465 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.5 V	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.75 A	10.82 A	10.89 A	10.96 A	11.02 A	11.09 A	11.16 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.5 V	48.7 V	48.9 V	49.1 V	49.3 V	49.5 V	49.7 V
Short Circuit Current (Isc)	11.42 A	11.48 A	11.54 A	11.60 A	11.66 A	11.72 A	11.78 A
Module Efficiency	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%	20.6%	20.8%	21.1%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	20 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 35 mm (83.0 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	24.3 kg (53.6 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-) (supply additional cable jumper: 2 lines/pallet) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

CS3W	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS	460MS	465MS
Nominal Max. Power (Pmax)	326 W	330 W	334 W	338 W	341 W	345 W	349 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.0 V	38.2 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.59 A	8.65 A	8.71 A	8.76 A	8.82 A	8.87 A	8.92 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	46.0 V	46.2 V	46.4 V	46.6 V	46.8 V	47.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 V	9.26 A	9.31 A	9.35 A	9.40 A	9.45 A	9.50 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

**PARTNER SECTION**



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.  
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com





## Subanejo IV.2. Ficha técnica de calderas de gasóleo-C

Calderas y Quemadores de media y gran potencia

Calderas y grupos térmicos de baja temperatura a gas y gasóleo



### CPA-BTH



**Caldera monobloc de chapa de acero** fabricada en acero especial para garantizar una larga vida útil. Hogar sobrepresionado con cámara de combustión y circuito de humos totalmente refrigerados.

**Facilidad de instalación y mantenimiento:** amplia puerta frontal que facilita la limpieza del haz tubular y de la cámara de combustión. Puerta reversible, fácilmente adaptable para abrirse hacia la derecha o la izquierda según necesidades de la instalación.

**Versatilidad de regulación:** control de caldera mediante regulación electrónica KSF o regulación analógica.

	55	70	100	130
Potencia útil kW	55	70	100	130
Rendimiento útil (1) con carga 100% %	94,0%	94,1%	94,3%	94,5%
Rendimiento útil (1) con carga 30% %	94,8%	94,7%	95,2%	95,5%
Sobrepresión cámara combustión mm.c.a.	3	5	6	9
Pérdida presión circuito agua $\Delta t=15^{\circ}\text{C}$ mm.c.a.	50	50	53	82
Peso neto aproximado kg	285	320	385	425
A: Cota anchura mm	810	810	880	880
B: Cota altura mm	870	870	940	940
D: Cota profundidad mm	1.254	1.394	1.394	1.494
Diámetro evacuación de humos cota G mm	175	175	195	195
Ida cota a -	2"	2"	DN 65	DN 65
Retorno cota b -	2"	2"	DN 65	DN 65
Capacidad agua t	130	150	170	180
Presión máxima de trabajo bar	5	5	5	5

#### Caldera con cuadro de control básico 1 etapa

Referencia	7503869	7503872	7503875	7503878
PVP	2.219 €	2.453 €	2.856 €	3.234 €

#### Caldera con cuadro de control básico 2 etapas

Referencia	7503870	7503873	7503876	7503879
PVP	2.442 €	2.699 €	3.078 €	3.457 €

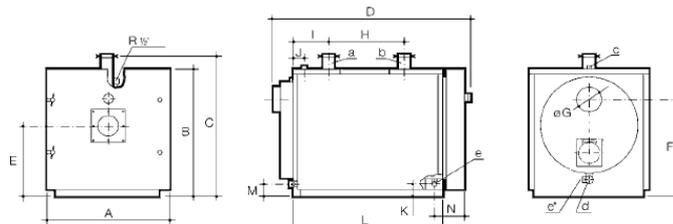
#### Caldera con cuadro de control digital KSF

Referencia	7503871	7503874	7503877	7503880
PVP	2.798 €	3.055 €	3.436 €	3.813 €

Forma de suministro

2/3 bultos: Cuerpo de caldera montado (incluye: turbuladores, conjunto puerta de seguridad antiexplosión (excepto CPA 55-BTH), volantes cierre puerta, cepillo de limpieza y manta aislante) + Envoltorio (incluye: accesorios de fijación de la envoltorio, flejes sujeción manta aislante, visor mirilla y cuadro de control básico). Cuadro digital KSF cuando corresponda en bulto aparte.

(1) Temp. media del agua 70°C al 100% y 40°C al 30%



Para consultar la compatibilidad de estas calderas con la gama de quemadores BAXI ir a la tabla de acoplamiento quemadores y calderas del capítulo de **Complementos y componentes de instalaciones.**

Para otras cotas no indicadas en la tabla superior consultar manual instalación

Disponibilidad bajo demanda de calderas para **montaje in situ**, para facilitar su instalación en salas de difícil acceso. Consultar precios y condiciones.

**Homologada como Baja Temperatura según Directiva 92/42/CEE:** funcionamiento a Baja Temperatura que evita en la mayoría de los casos la necesidad de circulador anticóndensación y válvulas mezcladoras en la instalación.

CONFORME A LA NORMATIVA ERP (Reglamento N° 813/2013 de la Comisión de 2/8/2013). ESTE PRODUCTO ESTÁ DESTINADO A LA SUSTITUCIÓN DE CALDERAS CPA EXISTENTES EN EL MERCADO.

Las calderas destinadas a la generación de calor para procesos industriales quedan fuera de la influencia de la normativa ERP.

170	220	270	320	380
170	220	270	320	380
94,8%	94,9%	95,0%	95,3%	95,4%
95,7%	95,9%	96,0%	96,4%	96,5%
13	16	21	27	31
115	110	153	217	174
465	588	645	695	835
880	980	980	980	1.080
940	1.070	1.070	1.070	1.190
1.608	1.665	1.815	1.915	1.940
195	245	245	245	295
DN 65	DN 80	DN 80	DN 80	DN 100
DN 65	DN 80	DN 80	DN 80	DN 100
195	270	300	315	450
5	5	5	5	5

7503881	-	-	-	-
3.545 €	-	-	-	-

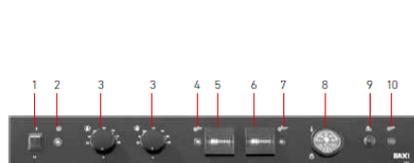
7503882	7503884	7503886	7503888	7503890
3.769 €	4.349 €	4.907 €	5.799 €	6.578 €

7503883	7503885	7503887	7503889	7503891
4.321 €	4.817 €	5.408 €	6.166 €	6.937 €

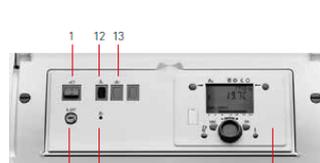
2/3 bultos: Cuerpo de caldera montado (incluye: turbuladores, conjunto puerta de seguridad antiexplosión (excepto CPA 55-BTH), volantes cierre puerta, cepillo de limpieza y manta aislante) + Envoltorio (incluye: accesorios de fijación de la envoltorio, flejes sujeción manta aislante, visor mirilla y cuadro de control básico). Cuadro digital KSF cuando corresponda en bulto aparte.



Cuadro de control básico (una etapa)



Cuadro de control básico (dos etapas)



Cuadro de control digital KSF

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1. Interruptor general             | 8. Termohidrómetro                              |
| 2. Piloto tensión                  | 9. Termostato seguridad                         |
| 3. Termostato regulación           | 10. Piloto bloqueo quemador                     |
| 4. Piloto primera etapa            | 11. Fusible 6,3 A                               |
| 5. Contador de horas primera etapa | 12. Piloto bloqueo caldera por sobretemperatura |
| 6. Contador de horas segunda etapa | 13. Pulsador de reseteo programador quemadores  |
| 7. Piloto segunda etapa            | 14. Unidad de regulación con pantalla LCD       |

Complementos y componentes de instalaciones

**Tabla acoplamiento quemadores y calderas**

Caldera			Quemadores de gas		Quemadores de gasóleo			
Modelo	Pot. útil gas y gasóleo		Modelo		Modelo	Boquillas G.P.H. y ángulo pulverización	Presión bomba kg/cm <sup>2</sup>	Boquilla Bergonzo (2) Tipo A3 - 45° kg/h
	kcal/h	kW						
P 30-4	20.000	23,3	-		CRONO 3-L	0,6 - 60°	12	-
P 30-5	25.000	29,1	-		CRONO 3-L	0,75 - 45°/60°	12	-
P 30-6	30.000	34,9	-		CRONO 5-L	0,90 - 45°/60°	12	-
P 30-7	35.000	40,7	-		CRONO 5-L	1 - 45°	12	-
P 30-8	40.000	46,5	-		CRONO 5-L	1,10 - 45°	12	-
P 30-9	45.000	52,3	-		CRONO 5-L	1,25 - 45°	12	-
Lidia 20	17.200	20,0	-		CRONO 3-LN	0,5 - 80°	12	-
Lidia 30	24.940	29,0	-		CRONO 3-LN	0,75 - 60°	12	-
Lidia 40	32.680	38,0	-		CRONO 3-LN	0,9 - 60°	12	-
Lidia 50	41.280	48,0	-		CRONO 5-LN	1,1 - 60°	12	-
Lidia 60	49.880	58,0	-		CRONO 5-LN	1,35 - 60°	12	-
NHF 90	77.400	90,0	CRONO 15-G2/15-GM		CRONO 10-L2	1,75 - 60°	12	-
NHF 115	98.900	115,0	CRONO 15-G2/15-GM		CRONO 15-L2	2,5 - 60°	9-5	-
NHF 150	129.000	150,0	CRONO 15-G2/15-GM		CRONO 15-L2	2,5 - 60°	9-5	-
NHF 185	159.100	185,0	CRONO 20-G2/20-GM		CRONO 20-L2	2 x 2,0 - 60°	12	-
NHF 230	197.800	230,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		CRONO 25-L2	2 x 2,5 - 60°	12	-
NHF 280	240.800	280,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		TECNO 34-L	2 x 3,5 - 60°	10	-
CPA 55-BTH	47.300	55,0	CRONO 8-G/8-G2/8-GM		CRONO 10-L/10-L2	1,25 - 60°	12	-
CPA 70-BTH	60.200	70,0	CRONO 8-G/8-G2/8-GM		CRONO 10-L/10-L2	1,5 - 60°	12	-
CPA 100-BTH	86.000	100,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 15-L/15-L2	2,25 - 60°	12	-
CPA 130-BTH	111.800	130,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 20-L/20-L2	3 - 60°	12	-
CPA 170-BTH	146.200	170,0	CRONO 20-G/20-G2/20-GM		CRONO 20-L/20-L2	3,5 - 60°	12	-
CPA 220-BTH	189.200	220,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		CRONO 25-L2	2 x 2 - 60°	12	-
CPA 270-BTH	232.200	270,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		TECNO 34-L	2 x 2,75 - 60°	12	-
CPA 320-BTH	275.200	320,0	TECNO 34-G/34-GM		TECNO 34-L	2 x 3,5 - 60°	12	-
CPA 380-BTH	326.800	380,0	TECNO 44-G/44-GM		TECNO 44-L	2 x 4 - 60°	12	-
CPA 460-BTH	395.600	460,0	TECNO 50-G/50-GM		TECNO 50-L/50-LM	2 x 4,5 - 60°	14	60
CPA 540-BTH	464.400	540,0	TECNO 70-G/70-GM		TECNO 50-L/50-LM	2 x 5,5 - 60°	12	70
CPA 640-BTH	550.400	640,0	TECNO 70-G/70-GM		TECNO 70-L/70-LM	2 x 7,5 - 60°	10	70
CPA 750-BTH	645.000	750,0	TECNO 100-G/100-GM		TECNO 70-L/70-LM	2 x 8 - 60°	12	80
CPA 900-BTH	774.000	900,0	TECNO 100-G/100-GM		TECNO 100-L/100-LM	2 x 8,5 - 60°	14	90
CPA 1.100-BTH	946.000	1.100,0	TECNO 100-G/100-GM		TECNO 100-L/100-LM	2 x 10,5 - 60°	14	100
CPA 1.300-BTH	1.118.000	1.300,0	TECNO 130-G/130-GM		TECNO 130-L/130-LM	2 x 15 - 60°	10	110
CPA 1.500-BTH	1.290.000	1.500,0	TECNO 190-GM		TECNO 190-L/190-LM	2 x 16 - 60°	12	150
CPA 1.750-BTH	1.505.000	1.750,0	TECNO 190-GM		TECNO 190-L/190-LM	2 x 17 - 60°	14	170
BTEC 50, 50/2, 50/M	43.000	50,0	CRONO 8-G/8-G2/8-GM		CRONO 5-L/10-L2	1,25 - 60°	12	
BTEC 70, 70/2, 70/M	60.200	70,0	CRONO 8-G/8-G2/8-GM		CRONO 10-L/10-L2	1,50 - 60°	12	
BTEC 90, 90/2, 90/M	77.400	90,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 10-L/10-L2	2,00 - 60°	12	
BTEC 120,120/2, 120/M	103.200	120,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 15-L/15-L2	2,75 - 60°	11	
BTEC 150, 150/2, 150/M	129.000	150,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 15-L/15-L2	3,50 - 60°	12	
BTEC 180, 180/2, 180/M	154.800	180,0	CRONO 20-G/20-G2/20-GM		CRONO 20-L/20-L2	4,00 - 60°	12	
BTEC 240/2, 240/M	206.400	240,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		CRONO 25-L2	5,00 - 60°	12	
BTEC 300/2, 300/M	258.000	300,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		TECNO 34-L	2 x 3,5 - 60°	10	
BTEC 400/2, 400/M	344.000	400,0	TECNO 44-G/TECNO 44-GM		TECNO 44-L/50-LM	2 x 4,5 - 60°	11	50
BTEC 500/2, 500/M	430.000	500,0	TECNO 50-G/TECNO 50-GM		TECNO 50-L/50-LM	2 x 6,0 - 60°	10	60
BTEC 600/2, 600/M	516.000	600,0	TECNO 70-G/TECNO 70-GM		TECNO 70-L/70-LM	2 x 6,5 - 60°	12	60
BTEC 750/2, 750/M	645.000	750,0	TECNO 70-G/TECNO 70-GM		TECNO 70-L/70-LM	2 x 8,0 - 60°	12	70
CPA 55-BT, BT/2, BT/M	47.300	55,0	CRONO 8-G/8-G2/8-GM		CRONO 10-L/10-L2	1,25 - 60°	12	
CPA 80-BT, BT/2, BT/M	68.800	80,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 10-L/10-L2	1,75 - 60°	12	
CPA 115-BT, BT/2, BT/M	98.900	115,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 15-L/15-L2	2,5 - 60°	12	
CPA 150-BT, BT/2, BT/M	129.000	150,0	CRONO 15-G/15-G2/15-GM		CRONO 20-L/20-L2	3,5 / 3 - 60°	11	
CPA 185-BT, BT/2, BT/M	159.100	185,0	CRONO 20-G/20-G2/20-GM		CRONO 25-L2	2 x 2 - 60°	12	
CPA 230-BT/2, BT/M	197.800	230,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		CRONO 25-L2	2 x 2,5 - 60°	12	
CPA 290-BT/2, BT/M	249.400	290,0	CRONO 30-G2/TECNO 34-GM		TECNO 34-L	2 x 3,5 - 60°	10	
CPA 345-BT/2, BT/M	296.700	345,0	TECNO 44-G/44-GM		TECNO 44-L	2 x 4 - 60°	11	
CPA 395-BT/2, BT/M	339.700	395,0	TECNO 44-G/44-GM		TECNO 50-L/50-LM	2 x 4,5 - 60°	12	50
CPA 465-BT/2, BT/M	399.900	465,0	TECNO 50-G/50-GM		TECNO 50-L/50-LM	2 x 5,5 - 60°	11	60
CPA 580-BT/2, BT/M	498.800	580,0	TECNO 70-G/70-GM		TECNO 70-L/70-LM	2 x 6,5 - 60°	12	60
CPA 695-BT/2, BT/M	597.700	695,0	TECNO 70-G/70-GM		TECNO 70-L/70-LM	2 x 8,5 - 60°	10	70
CPA 795-BT/2, BT/M	683.700	795,0	TECNO 100-G/100-GM		TECNO 100-L/100-LM	2 x 9 - 60°	12	80
CPA 930-BT/2, BT/M	799.800	930,0	TECNO 100-G/100-GM		TECNO 100-L/100-LM	2 x 10,5 - 60°	11	90
CPA 1045-BT/2, BT/M	898.700	1.045,0	TECNO 100-G/100-GM		TECNO 100-L/100-LM	2 x 12 - 60°	11	100
CPA 1275-BT/2, BT/M	1.096.500	1.275,0	TECNO 130-G/130-GM		TECNO 130-L/130-LM	2 x 14 - 60°	12	130
CPA 1510-BT/2, BT/M	1.298.600	1.510,0	TECNO 190-GM		TECNO 190-L/190-LM	2 x 17 - 60°	12	150
CPA 1740-BT/2, BT/M	1.496.400	1.740,0	TECNO 190-GM		TECNO 190-L/190-LM	2 x 19 - 60°	12	170

Características del combustible usado para efectuar las tablas			
	P. C. I.	Viscosidad	Densidad
Gasóleo	10.200 Kcal/kg	1,8°E, 20°C	0,85
Gas Natural	9.300 Kcal/m <sup>3</sup> (n)	-	0,62 (1)
Gas Propano	22.300 Kcal/m <sup>3</sup> (n)	-	1,60 (1)

(1) Densidad respecto al aire

(2) Boquillas para quemadores modulantes

Las rampas de gas adecuadas a los quemadores de gas indicados en esta tabla, están referenciados en la página anterior.



## Tecno

De dos etapas y modulantes. Adecuados para funcionar con cámaras de combustión sobrepresionadas o en depresión. Para quemar gasóleo con viscosidad máx. de 6 cSt a 20°C.

- Sistema de pulverización mecánica de alta presión, con combustión de elevada eficiencia
- Funcionamiento totalmente automático.
- Seguridad total contra fallo de llama mediante fotorresistencia.
- Barrido automático de la cámara de combustión antes de cada encendido.

- Regulación automática del aire en cada etapa, mediante sistema servomotor que permite realizar el prebarrido con el aire abierto y cerrarlo durante la fase de paro.
- Cuadro eléctrico incorporado.
- Conjunto electrodos-boquilla extraíbles desde atrás.
- Tensión de alimentación:
  - Tecno 34-L y 44-L: Monofásica 230V – 50 Hz
  - Tecno 50-L/50-LM a 130-L/130-LM: Trifásica 230/400V.N – 50 Hz
  - Tecno 190-L/190-LM: Trifásica 400V – 50 Hz (bajo demanda puede suministrarse Trifásica 230V – 50 Hz)

		34-L	44-L	50-L	50-LM	70-L	70-LM	100-L	100-LM	130-L	130-LM	190-L	190-LM
Caudal de combustible min + máx.	kg/h	8,3 / 13 + 33,6	13 / 20 + 41	12,5 / 25 + 50	11 / 25 + 50	21,5 / 40 + 70	17 / 40 + 70	30 / 60 + 100	28 / 60 + 100	41 / 80 + 130	35 / 80 + 130	64 / 120 + 206	40 / 120 + 205
Potencia (1)	kW	97 / 154 + 395	155 / 235 + 485	148 / 296 + 593	130 / 296 + 593	255 / 474 + 830	261 / 474 + 1.043	356 / 711 + 1.186	332 / 711 + 1.482	486 / 948 + 1.540	498 / 948 + 1.779	759 / 1.423 + 2.443	534 / 1.423 + 2.431
Intensidad	A	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1
Consumo energía eléctrico máx. W		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,6	1,6	1,9	1,9
Peso neto aproximado	kg	32	36	39	39	70	70	73	73	76	76	80	80
A	mm	442	442	476	476	580	663	599	679	625	705	756	756
B	mm	422	422	474	474	296	296	312	312	338	338	366	366
C	mm	508	508	468	468	284	367	287	367	287	367	390	390
D (1)	mm	780-915	780-915	672-807	672-807	680	680	680	680	680	680	696	696
E	mm	305	305	352	352	179	179	179	179	189	189	222	222
F	mm	140	152	152	152	951-1.086	951-1.086	951-1.086	951-1.086	951-1.086	951-1.086	1.102	1.102
G (2)	mm	216-351	216-351	216-351	216-351	250-385	272-385	250-385	272-385	250-385	272-385	370	370
H	mm	138	138	52	52	430	430	430	430	430	430	430	430
Referencia		143150200	143151200	143113200	143142200	143114200	143131200	143115200	143126200	143116200	143127200	143130200	143128200
PVP		1.983 €	2.859 €	3.154 €	6.548 €	4.129 €	9.394 €	4.539 €	10.521 €	4.941 €	11.185 €	7.832 €	16.331 €
Referencia puestas en marcha		740988293	740988313	740988323	143127201	740988333	143127201	740988333	143127201	740988333	143127201	740988353	740988353
PVP puestas en marcha		310 €	310 €	310 €	440 €	310 €	449 €	310 €	449 €	310 €	449 €	687 €	687 €

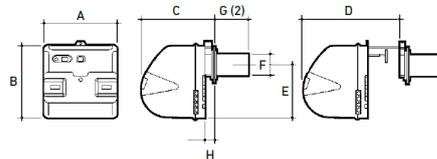
Forma de suministro: Los precios que se citan de las puestas en marcha son para poblaciones con servicio de post-venta. Para otras poblaciones se repercutirá el coste del desplazamiento. En 1 butlo, con tornillos de fijación, rácores, tubos flexibles y junta aislante. **Disponibles quemadores mixtos (gas/gasóleo) bajo pedido. Consultar precios**

(1) PCI del combustible = 10.200 kcal/kg

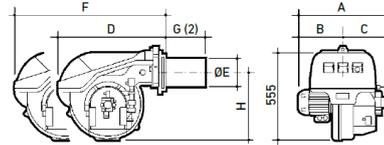
(2) Bajo demanda, puede suministrarse con cabezal alargado (cota normal - cota alargado).

**Puesta en Marcha:** A los precios de todos los quemadores de gasóleo se le añadirá el de la puesta en marcha correspondiente

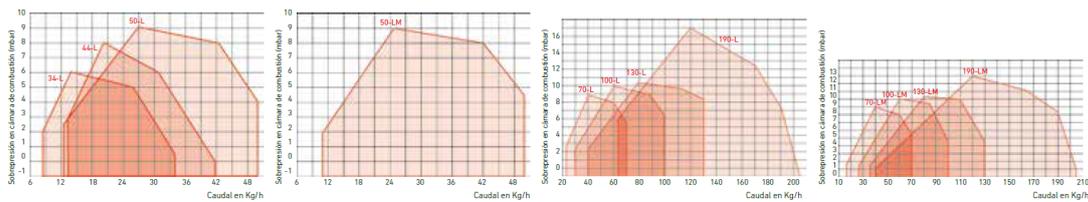
TECNO 34-L + 50-LM



TECNO 70-L + 190-LM



Curvas de caudal presión



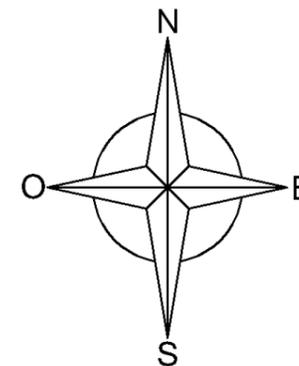
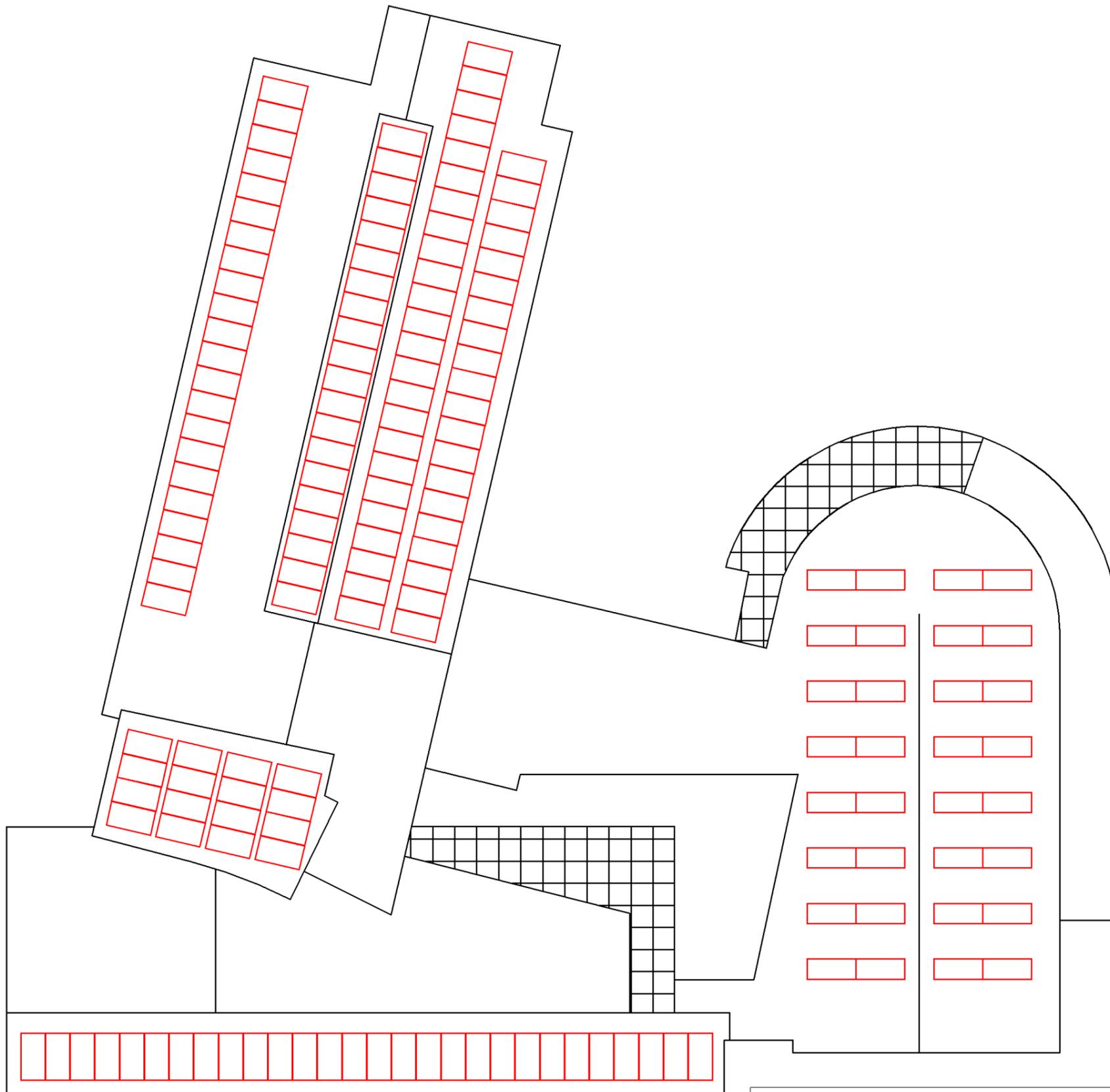
# **DOCUMENTO II:**

# **PLANOS**

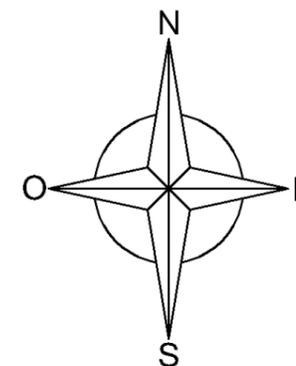
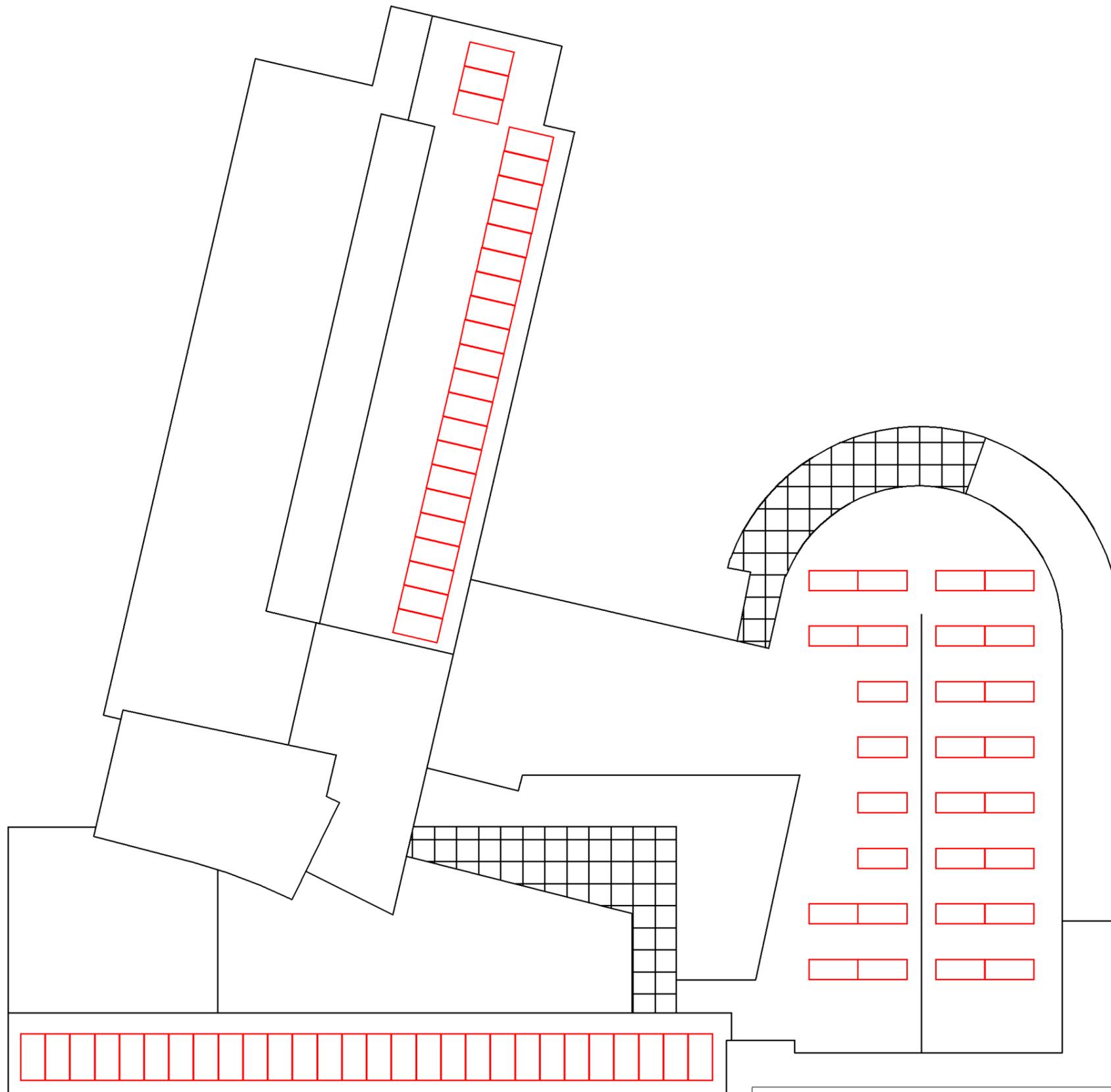


# Listado de planos

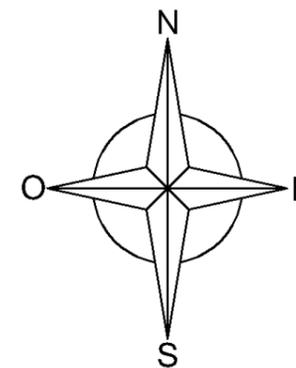
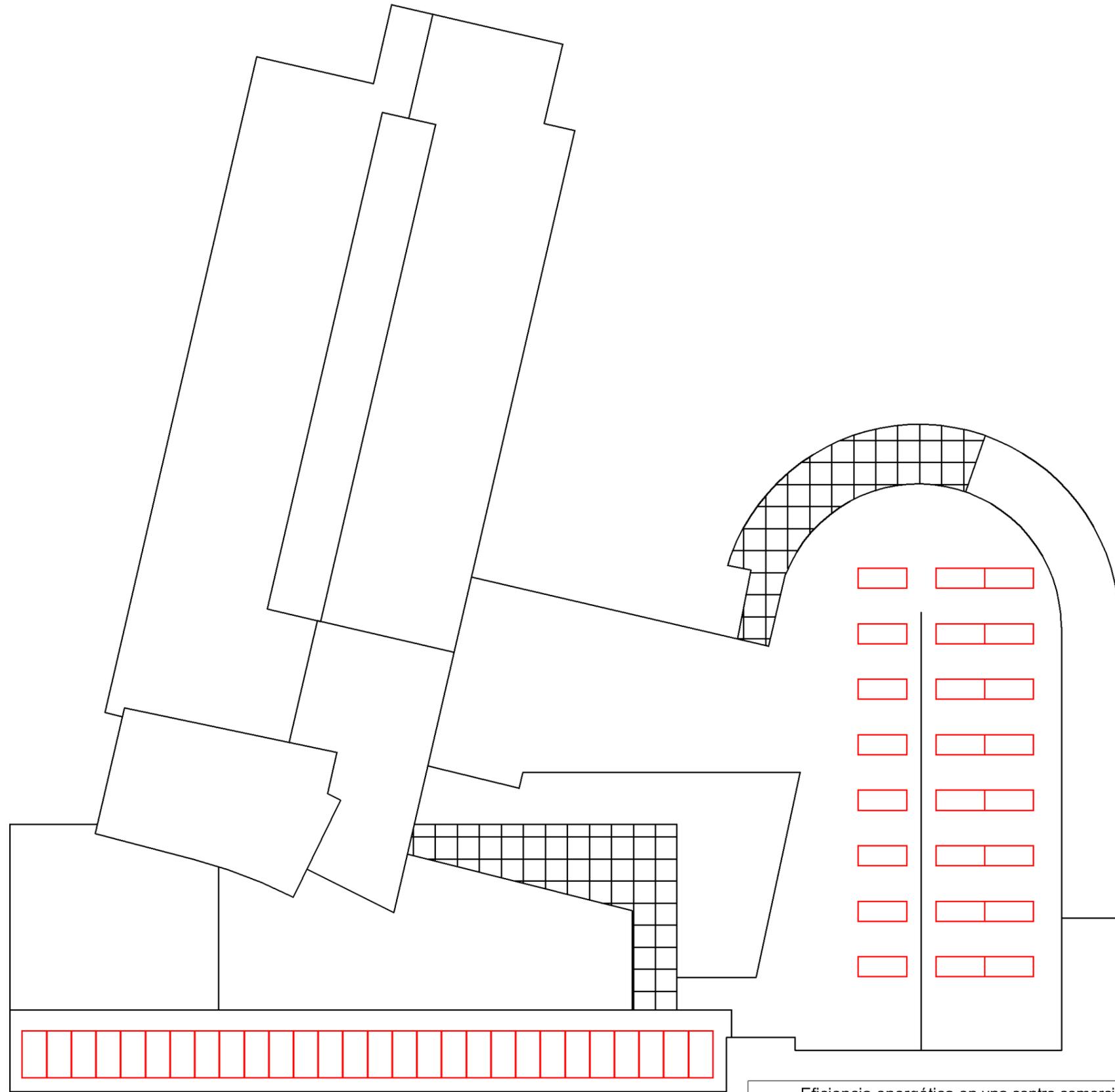
- Plano 01. Disposición de paneles, instalación fotovoltaica ‘A’
- Plano 02. Disposición de paneles, instalación fotovoltaica ‘B’
- Plano 03. Disposición de paneles, instalación fotovoltaica ‘C’
- Plano 04. Esquema unifilar de un *string* fotovoltaico
- Plano 05. Esquema unifilar de conexión con la red eléctrica del edificio



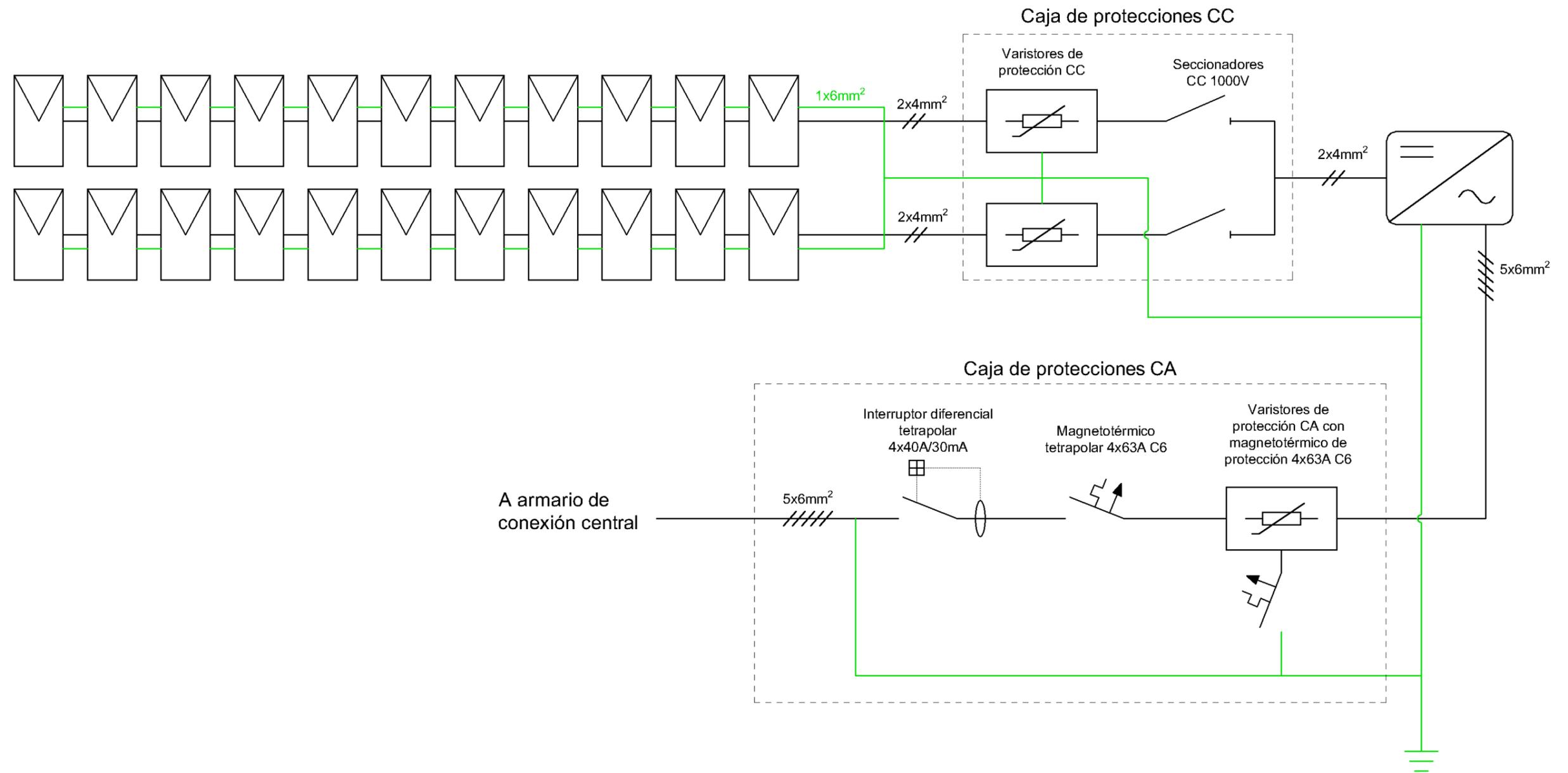
Eficiencia energética en una centro comercial y ahorro con energías renovables			TFG Curso 2021-22		
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA	Disposición de paneles, instalación fotovoltaica 'A'	
COMPROBADO		J. Alonso Rodríguez	28/06/2022		
ESCALA:		FIRMA		<b>I.C.A.I.</b>	Nº DE LAMINA: 01
<b>1:200</b>					



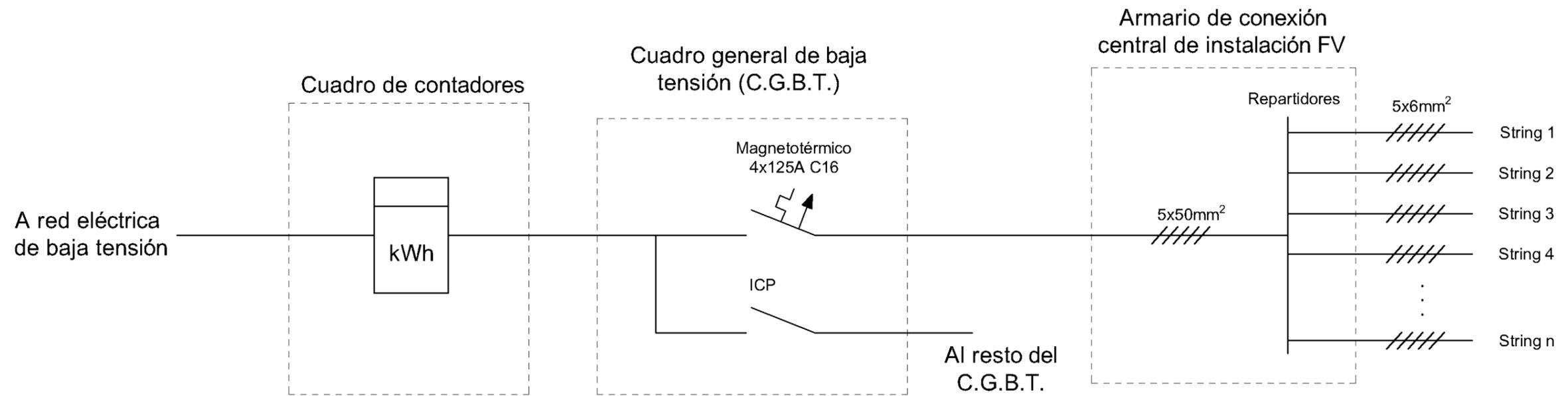
Eficiencia energética en una centro comercial y ahorro con energías renovables			TFG Curso 2021-22	
NOMBRE		FECHA	Disposición de paneles, instalación fotovoltaica 'B'	
DIBUJADO	J. Alonso Rodríguez	28/06/2022		
COMPROBADO			I.C.A.I.	
ESCALA:	FIRMA			
1:200			02	



Eficiencia energética en una centro comercial y ahorro con energías renovables			TFG Curso 2021-22	
NOMBRE		FECHA	Disposición de paneles, instalación fotovoltaica 'C'	
DIBUJADO	J. Alonso Rodríguez	28/06/2022		
COMPROBADO			I.C.A.I.	
ESCALA:	FIRMA			
1:200			03	



Eficiencia energética en una centro comercial y ahorro con energías renovables			TFG Curso 2021-22	
NOMBRE		FECHA	Esquema unifilar de un string fotovoltaico	
DIBUJADO	J. Alonso Rodríguez	28/06/2022		
COMPROBADO			I.C.A.I.	
ESCALA:	FIRMA			



Nº de strings por instalación FV	
Instalación 'A'	8
Instalación 'B'	4
Instalación 'C'	3

Eficiencia energética en una centro comercial y ahorro con energías renovables			TFG Curso 2021-22	
NOMBRE		FECHA	Esquema unifilar de conexión con la red eléctrica del edificio	
DIBUJADO	J. Alonso Rodríguez	28/06/2022		
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA		<b>I.C.A.I.</b>	Nº DE LAMINA: <b>05</b>

# **DOCUMENTO III:**

# **PRESUPUESTOS**



# Capítulo 1. Precios unitarios

## *Subcapítulo 1.1. Sistema fotovoltaico*

### *1.1.1. Elementos eléctricos*

Descripción	Precio unitario (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	295,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 3.0	1.964,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 5.0	2.198,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 6.0	2.497,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 8.0	2.977,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 10.0	3.363,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	1,10
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	1,20
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	1,60
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 seccionadores CC 1000V 25A</li> <li>• 6 varistores de protección CC contra sobretensión 1000V</li> </ul>	357,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 diferencial trifásico 400V/4x40A/30mA</li> <li>• 2 magnetotérmicos 4x63A C6</li> <li>• Protección contra sobretensiones por varistor</li> </ul>	463,00
Armario de conexión estanco con repartidor tetrapolar de 125A y repartidor de tierra 125A	100,00
Magnetotérmico trifásico tetrapolar 4x125A C16	235,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	5,90
Manguera eléctrica 5x50mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	43,00

### *1.1.2. Elementos mecánicos*

Descripción		Precio unitario (€)
Soportes SOLARBLOC 34° (tornillería incluida)		28,80
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. (Precio por longitud del conjunto.)	3,6 m	198,00
	4,8 m	271,00
	7,2 m	374,00
Perfil de aluminio G1, 2,2m		35,00
Presor lateral de paneles para perfil G1		2,97
Presor central de paneles para perfil G1		2,57
Tornillo-varilla para sujeción a cubierta de teja		9,00
Unión para perfil G1		6,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)		3,00

### *Subcapítulo 1.2. Caldera de gasóleo-C*

Los precios incluyen portes de transporte (la puesta en marcha se incluye aparte). El certificado de instalación lo emite el instalador sin cargo adicional.

Descripción	Precio unitario (€)
Caldera mixta de gas/gasóleo Baxi CPA 380-BTH	8711,00
Quemador de gasóleo Baxi Tecno 44-L	3003,00
Puesta en marcha de quemador para Baxi Tecno 44G	326,00

## Capítulo 2. Sumas parciales

### Subcapítulo 2.1. Tejado (a)

#### 2.1.1. Instalación 'A'

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Precio subtotal (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	22	295,00	6.490,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 8.0	1	2.977,00	2.977,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	100	1,10	110,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	50	1,20	60,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	48	1,60	76,80
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	1	357,00	357,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	1	463,00	463,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	30	5,90	177,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 7,2m	3	374,00	1.116,00
Perfil de aluminio G1, 2,2m	1	35,00	35,00
Presor central de paneles para perfil G1	3	2,57	7,71
Tornillo-varilla para sujeción a cubierta de teja	2	9,00	18,00
Unión para perfil G1	3	6,00	18,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	80	3,00	240,00
<b>Total</b>			<b>12.145,51</b>

## Subcapítulo 2.2. Tejado (b)

### 2.2.1. Instalación 'A'

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Precio subtotal (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	44	295,00	12.980,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 8.0	2	2.977,00	5.954,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	180	1,10	198,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	90	1,20	108,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	92	1,60	147,20
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	2	357,00	714,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	2	463,00	926,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	60	5,90	354,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 7,2m.	6	374,00	2.244,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 4,8m.	1	271,00	271,00
Presor central de paneles para perfil G1	4	2,57	10,28
Unión para perfil G1	5	6,00	30,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	150	3,00	450,00
<b>Total</b>			<b>24.386,48</b>

### 2.2.2. Instalación 'B'

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Precio subtotal (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	24	295,00	7.080,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 10.0	1	3.363,00	3.363,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	100	1,10	110,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	50	1,20	60,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	52	1,60	83,20
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	1	357,00	357,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	1	463,00	463,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	30	5,90	177,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 7,2m.	3	374,00	1.122,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 3,6m.	1	198,00	198,00
Perfil de aluminio G1, 2,2m	1	35,00	35,00
Presor central de paneles para perfil G1	2	2,57	5,14
Unión para perfil G1	2	6,00	12,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	80	3,00	240,00
<b>Total</b>			<b>13.305,34</b>

## *Subcapítulo 2.3. Tejado (c)*

### *2.3.1. Instalación 'A'*

<b>Descripción</b>	<b>Uds.</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio subtotal (€)</b>
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	20	295,00	5.900,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 8.0	1	2.977,00	2.977,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	100	1,10	110,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	50	1,20	60,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	44	1,60	70,40
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	1	357,00	357,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	1	463,00	463,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	30	5,90	177,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 7,2m	3	374,00	1.122,00
Presor central de paneles para perfil G1	2	2,57	5,14
Unión para perfil G1	2	6,00	12,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	80	3,00	240,00
<b>Total</b>			<b>11.493,54</b>

## *Subcapítulo 2.4. Tejado (d)*

### *2.4.1. Instalación 'A'*

<b>Descripción</b>	<b>Uds.</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio subtotal (€)</b>
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	16	295,00	4.720,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 6.0	1	2.497,00	2.497,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	80	1,10	88,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	40	1,20	48,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	36	1,60	57,60
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	1	357,00	357,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	1	463,00	463,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	30	5,90	177,00
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 4,8m	4	271,00	1.084,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	70	3,00	210,00
<b>Total</b>			<b>9.701,60</b>

## Subcapítulo 2.5. Tejado (f)

### 2.5.1. Instalaciones 'A', 'B' y 'C'

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Precio subtotal (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	28	295,00	8.260,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 10.0	1	3.363,00	3.363,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	100	1,10	110,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	50	1,20	60,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	60	1,60	96,00
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	1	357,00	357,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	1	463,00	463,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	5	5,90	29,50
Conjunto modular de estructura coplanar, módulos unidos por lateral largo, con unión a la cubierta mediante varillas roscadas. 7,2m	4	374,00	1.496,00
Perfil de aluminio G1, 2,2m	1	35,00	35,00
Presor central de paneles para perfil G1	3	2,57	7,71
Tornillo-varilla para sujeción a cubierta de teja	2	9,00	18,00
Unión para perfil G1	4	6,00	24,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	55	3,00	165,00
<b>Total</b>			<b>14.484,21</b>

## *Subcapítulo 2.6. Cubierta (d)*

### *2.6.1. Instalación 'A'*

<b>Descripción</b>	<b>Uds.</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio subtotal (€)</b>
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	32	295,00	9.440,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 6.0	2	2.497,00	4.994,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	160	1,10	176,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	80	1,20	96,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	72	1,60	115,20
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	2	357,00	714,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	2	463,00	926,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	20	5,90	118,00
Soportes SOLARBLOC 34°	48	28,80	1.382,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	90	3,00	270,00
<b>Total</b>			<b>18.231,20</b>

### 2.6.2. Instalación 'B'

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Precio subtotal (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	28	295,00	8.260,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 5.0	1	2.198,00	2.198,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 6.0	1	2.497,00	2.497,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	150	1,10	165,00
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	75	1,20	90,00
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	64	1,60	102,60
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	2	357,00	714,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	2	463,00	926,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	20	5,90	118,00
Soportes SOLARBLOC 34°	44	28,80	1.267,20
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	90	3,00	270,00
<b>Total</b>			<b>16.607,80</b>

### 2.6.3. Instalación 'C'

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Precio subtotal (€)
Panel solar CanadianSolar HiKu CS3W-450M	24	295,00	7.080,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 3.0	1	1.964,00	1.964,00
Inversor solar SMA Sunny TriPower 6.0	1	2.497,00	2.497,00
Cable solar negro/rojo para exterior, 4 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	128	1,10	140,80
Cable de conexión a tierra para uso mixto, 6 mm <sup>2</sup> . (Precio por metro)	64	1,20	76,80
Terminal MC4 macho/hembra para sistema solar	56	1,60	89,60
Armario exterior de protecciones CC precableado para sistema solar de 20kW, 2 MPPT.	2	357,00	714,00
Armario exterior de protecciones CA precableado para sistema solar de 20kW con un inversor.	2	463,00	926,00
Manguera eléctrica 5x6mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	20	5,90	118,00
Soportes SOLARBLOC 34°	40	28,80	1.152,00
Canalización en superficie para cableado. (Precio por metro)	90	3,00	270,00
<b>Total</b>			<b>15.028,20</b>

### *Subcapítulo 2.7. Instalación eléctrica común*

<b>Descripción</b>	<b>Uds.</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio subtotal (€)</b>
Armario de conexión estanco con repartidor tetrapolar de 125A y repartidor de tierra 125A	1	100,00	100,00
Magnetotérmico trifásico tetrapolar 4x125A C16	1	235,00	235,00
Manguera eléctrica 5x50mm <sup>2</sup> para uso mixto. (Precio por metro)	20	43,00	860,00
<b>Total</b>			<b>1.195,00</b>

### *Subcapítulo 2.8. Caldera de gasóleo-C*

<b>Descripción</b>	<b>Uds.</b>	<b>Precio unitario (€)</b>	<b>Precio subtotal (€)</b>
Caldera mixta de gas/gasóleo Baxi CPA 380-BTH	1	8711,00	8711,00
Quemador de gasóleo Baxi Tecno 44-L	1	3003,00	3003,00
Puesta en marcha de quemador para Baxi Tecno 44G	1	326,00	326,00
<b>Total</b>			<b>12.040,00</b>

## Capítulo 3. Presupuestos generales

### Subcapítulo 3.1. Instalaciones fotovoltaicas

Como regla general, en las instalaciones fotovoltaicas, la mano de obra y gastos administrativos se estiman al 20% del precio del equipamiento.

#### 3.1.1. Instalación 'A'

Descripción	Precio (€)
Total tejado (a), instalación 'A'	12.145,51
Total tejado (b), instalación 'A'	24.386,48
Total tejado (c), instalación 'A'	11.493,54
Total tejado (d), instalación 'A'	9.701,60
Total tejado (f), instalación 'A'	14.484,21
Total cubierta (d), instalación 'A'	18.231,20
Total instalación eléctrica común	1.195,00
Mano de obra y gastos administrativos	18.327,51
<b>Total instalación 'A'</b>	<b>109.965,05</b>

#### 3.1.2. Instalación 'B'

Descripción	Precio (€)
Total tejado (b), instalación 'B'	13.305,34
Total tejado (f), instalación 'B'	14.484,21
Total cubierta (d), instalación 'B'	16.607,80
Total instalación eléctrica común	1.195,00
Mano de obra y gastos administrativos	9.118,47
<b>Total instalación 'A'</b>	<b>54.710,82</b>

### 3.1.3. Instalación 'C'

Descripción	Precio (€)
Total tejado (f), instalación 'C'	14.484,21
Total cubierta (d), instalación 'C'	15.028,20
Total instalación eléctrica común	1.195,00
Mano de obra y gastos administrativos	6.141,48
<b>Total instalación 'C'</b>	<b>36.848,89</b>

### *Subcapítulo 3.2. Sustitución de caldera gasóleo-C*

Se incluye un 10% de recargo por modificación de la instalación del edificio (mano de obra, materiales, administrativo) para adaptarla a la nueva caldera.

Descripción	Precio (€)
Total instalación caldera de gasóleo-C	12.040,00
Adaptación de instalación existente	1.204,00
<b>Total caldera de gasóleo-C</b>	<b>13.244,00</b>