



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:



## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría hacer constar mi agradecimiento a todos los organismos y personas por su ayuda prestada durante el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado.

A mi tutora María Josefa Palomo Anaya por su dedicación, experiencia y ayuda a lo largo de todo el trabajo.

A los componentes de la cooperativa del centro educativo, en particular a Miguel Roca, por su interés y rápida respuesta durante todo el proceso de estudio del proyecto.

Al profesor Carlos Roldán, por sus conocimientos, experiencia en la materia de Tecnología Eléctrica y por sus consejos y recomendaciones en el apartado de cálculo eléctrico.

Al despacho de arquitectos, en particular a Carlos, por su colaboración con los planos y estudios de la nueva construcción del centro educativo estudiado.

A mis amigos en general, que me han dado ánimo y ayudado de la mejor manera posible durante la realización de todo el proyecto.

Hacer llegar mi mas sincero agradecimiento a mi familia por su apoyo incondicional.

Y, por último, a mi madre Amparo, por su colaboración en las fases finales del proyecto y porque sin ella nada hubiera sido posible.



## **RESUMEN**

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) tiene como objeto el Estudio técnico y de viabilidad económica de dos opciones de instalación fotovoltaica de 33kW y 49,5kW, para cubrir las necesidades de consumo de un centro educativo de infantil, primaria, secundaria y bachillerato de la población de Godella, municipio y localidad española de la provincia de Valencia, en la Comunidad Valenciana.

El centro educativo en cuestión afronta una reforma y ampliación importantes y, como antiguo alumno, decidí ponerme en contacto con dicho centro y ofrecerles la oportunidad de estudiar la viabilidad de disponer de un abastecimiento energético basado en energías renovables.

Para abordar este estudio se ha tenido en cuenta el proyecto estructural de la reforma y ampliación del centro educativo con el fin de determinar la superficie de cubiertas y la demanda energética necesarias. A partir de estos datos se ha calculado:

- El espacio útil para la disposición de paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta las sombras y estructura de las cubiertas.
- El potencial de energía solar

Además, se ha tenido en cuenta el RD 244/2019 para dimensionar las instalaciones fotovoltaicas ya que permite dos opciones, suministrar la energía diurna o la compensación de la demanda total, a lo largo del un año.

Con todo este estudio previo se realiza el cálculo de las dos instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red y se estudia la viabilidad económica en ambos casos.

Palabras clave: Instalación fotovoltaica; Instalación eléctrica; Abastecimiento energético; Paneles fotovoltaicos; RD 244/2019; Autoabastecimiento; Compensación de energía; Energías renovables



## RESUM

Este Treball de Fi de Grau (TFG) té com a objecte Estudi tècnic i de viabilitat econòmica de dos opcions d'instal·lació fotovoltaica de 33kW i 49,5kW, per a cobrir les necessitats de consum d'un centre educatiu d'infantil, primària, secundària i batxillerat de la població de Godella, municipi i localitat espanyola de la província de València, a la Comunitat Valenciana.

El centre educatiu en qüestió afronta una reforma i ampliació importants i, com a antic alumne, vaig decidir posar-me en contacte amb este i oferir-los l'oportunitat d'estudiar la viabilitat de disposar d'un abastiment energètic basat en energies renovables.

Per a abordar este estudi s'ha tingut en compte el projecte estructural de la reforma per a determinar quina és la superfície de cobertes i la demanda energètica del centre. A partir d'estes dades s'ha calculat:

- L'espai útil per a la disposició de panells fotovoltaics tenint en compte les ombres i estructura de les cobertes.
- El potencial d'energia solar.

A més, s'ha tingut en compte el RD 244/2019 per a dimensionar les instal·lacions fotovoltaiques ja que permet dos opcions, subministrar l'energia diürna o la compensació de la demanda total, al llarg de l'un any.

Amb tot este estudi previ es realitza el càlcul de les dos instal·lacions fotovoltaiques connectades a la xarxa i s'estudia la viabilitat econòmica en ambdós casos.

Paraules clau: Instal·lació fotovoltaica; Instal·lació elèctrica; Abastiment energètic; Panells fotovoltaics; RD 244/2019; Autoabastiment; Compensació d'energia; Energies renovables



## **ABSTRACT**

The purpose of this Final Degree Project (TFG) is to study the Technical and economic feasibility study of two options for the 33kW and 49.5kW photovoltaic installation, to cover the consumption needs of a school for kindergarden, primary, secondary and high school in the town of Godella.

The school is facing an important reform and expansion and, as an ex-student, I decided to get in contact with them and offer the opportunity of studying the feasibility of having an energy supply based on renewable energy.

To undertake this study, the structural project of the reform has been taken into account to determine what is the surface area of the roofs and the energy demand of the center. From these data it has been calculated:

- The useful space for the arrangement of photovoltaic panels taking into account the shadows and structure of the roofs.
- The potential of solar energy

In addition, RD 244/2019 has been taken into account to size photovoltaic installations since it allows two options, supplying daytime energy or compensating for total demand, throughout the year.

With all this previous study, the calculation of the two photovoltaic installations connected to the network is carried out and the economic viability in both cases is studied.

Key words: Photovoltaic installation; Electrical installation: energy supply; Photovoltaic panels; RD 244/2019; Self-sufficiency; Power compensation; Renewable energy



## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b><i>Objetivo del Documento</i></b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><i>Introducción</i></b> .....	<b>3</b>
2.1	<b>Motivación</b> .....	<b>3</b>
2.2	<b>Alcance</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b><i>El recurso solar</i></b> .....	<b>5</b>
3.1	<b>Situación económica</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><i>Antecedentes</i></b> .....	<b>9</b>
4.1	<b>Origen de la Energía Solar Fovovoltaica</b> .....	<b>9</b>
4.2	<b>Situación Energética Internacional</b> .....	<b>13</b>
4.2.1	Producción de Energía Solar Fovovoltaica Global.....	15
4.2.2	Producción de Energía Solar Fovovoltaica en España .....	16
4.3	<b>Situación energética autonómica</b> .....	<b>18</b>
4.4	<b>Medidas legislativas</b> .....	<b>21</b>
4.4.1	Objetivos 2020 .....	22
4.4.2	Objetivos 2030 .....	22
4.4.3	Objetivos 2050 .....	22
4.5	<b>Desarrollo Sostenible</b> .....	<b>23</b>
4.5.1	Objetivos de la ONU (ODS) .....	23
4.5.2	Principales cumbres Climáticas .....	25
4.5.3	Objetivos Unión Europea.....	27
<b>5</b>	<b><i>Población de Godella</i></b> .....	<b>28</b>
5.1	<b>Alcance de la instalación fovovoltaica</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b><i>Diseño de la Instalación Fovovoltaica</i></b> .....	<b>33</b>
6.1	<b>Características del centro educativo</b> .....	<b>33</b>
6.2	<b>Cálculo de la Radiación solar en el Centro Educativo</b> .....	<b>34</b>
6.3	<b>Comparativa de módulos fovovoltaicos</b> .....	<b>35</b>
6.4	<b>Cálculo Energía producida por Módulo Fovovoltaico</b> .....	<b>37</b>
6.4.1	Cálculo del número de módulos fovovoltaicos.....	37
6.4.2	Inclinación Módulos .....	37
6.5	<b>Separación entre módulos</b> .....	<b>38</b>
<b>7</b>	<b><i>Diseño de la Instalación fovovoltaica</i></b> .....	<b>43</b>
7.1	<b>Inversores</b> .....	<b>43</b>
7.1.1	Caso 1: Compensación mínimo horas Llano-100 placas con distribución 2x(5x10) .....	46
7.1.2	Caso 2: Compensación demanda total - 150 placas con distribución 3x(5x10) .....	49
7.2	<b>Representación de la distribución fovovoltaica</b> .....	<b>50</b>
7.2.1	Caso 1: Distribución para compensación horas llano .....	50
7.2.2	Caso 2: Distribución para compensación de la demanda total.....	52
7.3	<b>Cálculos eléctricos de la instalación</b> .....	<b>53</b>
7.3.1	Caída de tensión en las líneas eléctricas .....	53



<b>7.4</b>	<b>Cálculo de las dimensiones del cableado .....</b>	<b>54</b>
7.4.1	Características técnicas para la selección del cableado.....	54
7.4.2	Criterio de cálculo de sección del cableado .....	55
<b>7.5</b>	<b>Características técnicas para interconexión entre campo solar, -REE y punto de consumo .....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b><i>Presupuesto del TFG.....</i></b>	<b>61</b>
8.1	Recursos Humanos .....	61
8.2	Amortización Ofimática.....	61
8.3	Presupuesto Total .....	62
8.4	Presupuesto Total de Ejecución y Presupuesto Total .....	62
<b>9</b>	<b><i>Análisis de Viabilidad Económica.....</i></b>	<b>63</b>
9.1	Consideraciones Iniciales.....	63
9.2	Cálculo del Mantenimiento de la Instalación Solar .....	64
9.3	Tiempo de recuperación de la inversión.....	65
<b>10</b>	<b><i>Conclusiones .....</i></b>	<b>67</b>
<b>11</b>	<b><i>Bibliografía.....</i></b>	<b>69</b>

## PLIEGO DE CONDICIONES

<b><i>REGLAMENTO TECNICO DE BAJA TENSIÓN .....</i></b>	<b>75</b>
--	-----------

## ANEXOS

<b><i>ANEXOS.....</i></b>	<b>77</b>
<b><i>ANEXO A: DISTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR PARA AMBOS CASO .....</i></b>	<b>78</b>
<b><i>ANEXO B: PRESUPUESTO TÉCNICO.....</i></b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Radiación global en Europa, África y parte de Asia medida en un plano horizontal. Fuente: (PVGIS, 2019) .....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2: Contribución del sector de las energías renovables al PIB de España en millones de euros reales. Fuente: (IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2019).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3: Evolución del porcentaje de aportación al PIB de cada tecnología respecto del total del sector de las energías renovables (2015-2020). Fuente: (IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2019) .....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4: Satélite estadounidense (Raffino, 2019) I. Fuente: Google.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5: Unión P-N no polarizada. Fuente: (Landín, s.f.).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6: Evolución del rendimiento de las tecnologías de células solares en los últimos 25 años. Fuente: (Mártel, 2019).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7: Evolución del rendimiento de los módulos fotovoltaicos de silicio en los últimos 12 años. Fuente: (Mártel, 2019).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8: Tasa de mejora de la intensidad energética (% anual) y cuota de la energía renovable en el CEFT (%), casos referencia y REmap, 2015-2050. Fuente: (Irena, 2018).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 9: Empleo en el sector energético total en 2016, 2030 y 2050 (en millones de puestos de trabajo. Fuente: (Irena, 2018).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10: Generación de energía solar fotovoltaica en 2016. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 11: Potencia fotovoltaica instalada en España peninsular. Fuente: (REVE, 2020)...</i>	<i>17</i>
<i>Figura 12: Producción de energía fotovoltaica en España peninsular. Fuente: (REVE, 2020) .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 13: Potencia solar fotovoltaica instalada a 31,12,2018. Sistema eléctrico nacional por CC.AA. Fuente: (Red Eléctrica de España, 2018) .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 14: Potencia solar fotovoltaica de cada CC.AA sobre la potencia fotovoltaica nacional a 31,12,2018. Fuente: (Red Eléctrica de España, 2018).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15: Potencia instalada de tecnologías renovables por comunidades autónomas en 2014. Fuente: (CNMC, s.f.).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 16: Hitos en la normativa de la Unión Europea. Fuente: (Prysmian, 2019) .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 17: Principales cumbres climáticas y sus hitos. Fuente: (Iberdrola, 2018). .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 18: Emisiones gases efecto invernadero desde 1990 en la Unión Europea. Fuente: Eurostat.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 19: Captura de pantalla del visor de cartografía de la población de Godella. Fuente: (Instituto cartográfico de Valencia, 2020) .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 20: Demanda energética anual del centro educativo estudiado, por discriminación horarias. Fuente: Propia. ....</i>	<i>30</i>



<i>Figura 21: Captura de pantalla de Google Maps de la cubierta del centro educativo estudiado en este TFG. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figuras 22: Captura de pantalla de los resultados del PVGIS obtenidos para nuestra localización estudiada Fuente: (PVGIS, 2020).....</i>	<i>34</i>
<i>35</i>	
<i>Figura 23: Captura de pantalla de los resultados del PVGIS obtenidos para nuestra localización estudiada. Fuente: (PVGIS, 2020).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 24: Inclinación de los rayos solares en verano e invierno. Fuente: (Instituto de Tecnologías Educativas, 2017) .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 25: Esquema de separación entre placas.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 26: Esquema de un parque solar. Fuente: Google imágenes. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 27: Distribución caso 1, 100 placas solares distribuidas 2x(5x10). Fuente: Propia...47</i>	
<i>Figura 28: Diagrama unifilar del caso 1. Fuente: Propia. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 29: Distribución caso 2, 150 placas solares distribuidas 3x(5x10). Fuente: Propia..49</i>	
<i>Figura 30: Diagrama unifilar del caso 2. Fuente Propia. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 31: Distribución caso 1 en AutoCad©, 100 placas solares distribuidas 2x(5x10) y la distribución de cableado. Fuente: Propia.....</i>	<i>51</i>
<i>52</i>	
<i>Figura 32: Distribución caso 2 en AutoCad©, 150 placas solares distribuidas 3x(5x10). Fuente: Propia.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 33: Esquema general de nuestra interconexión. Fuente: Propia.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 34: Parte de una factura del centro educativo estudiado. Fuente: Propia.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura A.1: Distribución de instalación fotovoltaica del caso 1. Fuente: Propia.....</i>	<i>79</i>
<i>80</i>	
<i>Figura A.2: Detalle superior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 1. Fuente: Propia.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura A.3: Detalle inferior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 1. Fuente: Propia.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura A.4: Distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura A.5: Detalle superior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura A.6: Detalle medio de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura A.7: Detalle inferior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia .....</i>	<i>85</i>



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Conductividad de distintos materiales usados para semiconductores. Fuente: (SFV-Fundamentos Celdas, 2018).....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2: Resumen objetivos energéticos y climáticos de la UE. Fuente: Unión Europea .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3: Estudio de demanda de potencia y consumo económico del centro educativo estudiado en este TFG por mes, durante el año 2019. Fuente: Propia.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4: Diez paneles solares mas eficientes en el mercado fotovoltaico. Fuente: (Lorenzo, 2019).....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5: Características de los tres paneles solares estudiados en detalle. Fuente: Propia....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6: Distancia de separación “d” de los tres modelos de placa solar. Fuente: Propia....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7: Distribución de cajas de conexiones. Fuente: Propia. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8: Ficha técnica del inversor Fronius Eco 27.0-3-S. Fuente: (Fronius, 2020).....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9: Secciones normalizadas de los cables utilizados en el caso 1 y caso 2. Fuente: Propia.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 10: Corte Recursos Humanos. Fuente: Propia.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 11: Corte Ofimático. Fuente: Propia.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 12: Coste Total. Fuente: Propia.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 13: Presupuesto de Ejecución. Fuente: Propia.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 14: Resumen presupuesto ejecución material y presupuesto final para ambos casos. Fuente: Propia.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 15: Distribución del porcentaje de energía autogenerada y suministrada por la distribuidora, dependiendo de cada hipótesis realizada. Fuente: Propia .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 16: Coste mensual del mantenimiento de ambas hipótesis de instalación solar. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 17: Tiempo de recuperación de la inversión para cada hipótesis estudiada. Fuente: Propia.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla B.1: Medición para la instalación solar del caso 1. Fuente: Propia.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla B.2: Medición para la interconexión del caso 1. Fuente: Propia .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla B.3: Medición para la instalación solar del caso 2. Fuente: Propia.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla B.4: Medición para la interconexión del caso 2. Fuente: Propia .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla B.5: Cuadro de Precios Descompuestos, Módulo fotovoltaico. Fuente: Propia y Cype. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla B.6: Cuadro de Precios Descompuestos, Inversor. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla B.7: Cuadro de Precios Descompuestos, Concentrador. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla B.8: Cuadro de Precios Descompuestos, Hornacina. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla B.9: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 1,5 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla B.10: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 2,5 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla B.11: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 4 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>91</i>



<i>Tabla B.12: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 10 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla B.13: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 16 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla B.14: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 25 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla B.15: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 70 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla B.16: Cuadro de Precios Descompuestos, Interruptor Automático Magnetotérmico C80. Fuente: Propia y Cype. ....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla B.17: Cuadro de Precios Descompuestos, Equipo de Medida. Fuente: Propia y Cype.</i>	<i>93</i>
<i>Tabla B.18: Presupuesto Parcial Capítulo 1, caso 1. Fuente: Propia. ....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla B.19: Presupuesto Parcial Capítulo 2, caso 1. Fuente: Propia. ....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla B.20: Presupuesto Parcial Capítulo 1, caso 2. Fuente: Propia.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla B.21: Presupuesto Parcial Capítulo 2, caso 2. Fuente: Propia. ....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla B.22: Presupuesto Ejecución Material, caso 1. Fuente: Propia. ....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla B.23: Presupuesto Ejecución Material, caso 2. Fuente: Propia. ....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla B.24: Presupuesto Final, caso 1. Fuente: Propia. ....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla B.25: Presupuesto Final, caso 2. Fuente: Propia. ....</i>	<i>96</i>



Estudio técnico y de viabilidad económica de dos opciones de instalación fotovoltaica de 33kW y 49,5kW, para cubrir las necesidades de consumo de un colegio de la población de Godella.



# MEMORIA



## 1 OBJETIVO DEL DOCUMENTO

Este TFG tiene como objetivo el diseño de una instalación fotovoltaica para fomentar el uso de energía renovable y con ello poder abastecer la demanda de un centro educativo en la localidad de Godella. Con ello se pretende sustituir el uso de energías convencionales por energías limpias.

Para conseguir esto, el TFG se compone de diferentes partes:

- Análisis de las condiciones de radiación solar y espacios protegidos de la población de Godella.
- Estudio de las características del contrato de suministro eléctrico y la demanda energética anual del centro educativo.
- Diseño de la planta fotovoltaica.
- Diseño de la instalación eléctrica.
- Análisis de la viabilidad económica del proyecto.

Para el desarrollo del trabajo, se van a poner en práctica conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante todo el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, afrontándolo como si se tratara de un proyecto real para ofrecerle al cliente una solución realista y viable.



## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 Motivación

Conociendo los grandes y graves problemas que acarrea la obtención de energía a través de recursos no renovables, el autor desea aportar su grano de arena para apoyar la causa medio ambiental y así tener un compromiso firme con las energías renovables.

Además, siendo antiguo alumno del centro educativo objeto del TFG se ha entrado en contacto con el centro y se ha tenido conocimiento del gasto anual que deben afrontar para abastecer la demanda de energía eléctrica.

Es por ello que, se quiere aportar una alternativa a través de la energía solar fotovoltaica ya que puede permitir un gran ahorro económico y ser una forma limpia y segura de asumir una parte del consumo eléctrico.

### 2.2 Alcance

Para la realización de este estudio técnico y de viabilidad económica, hay tres limitaciones:

- La radiación solar de la zona donde está localizado el centro educativo.
- La superficie útil de cubierta del centro estudiado.
- La demanda eléctrica.

La intersección de estos tres parámetros va a determinar el número de placas fotovoltaicas a instalar. Los primeros dos parámetros (radiación y superficie útil) son valores fijos que no podemos actuar sobre ellos. Respecto al último parámetro (la demanda), en este trabajo vamos a estudiar dos hipótesis posibles:

1. cubrir la demanda diurna en horas llanas
2. cubrir la demanda total.

Por lo tanto, en este trabajo se van a diseñar dos instalaciones fotovoltaicas que cubran estas dos demandas y analizar cual es la solución óptima, técnica y económica.

El alcance queda limitado en el cálculo del conexionado eléctrico a la línea del cuadro eléctrico general, que no es objeto de este TFG.



### 3 EL RECURSO SOLAR

La radiación solar es de vital importancia para la vida en nuestro mundo. Para empezar, la energía solar es una de las principales fuentes energéticas, siendo pues el motor que mueve nuestro medio ambiente, (Figura 1). (Planas, 2015)

Toda la energía solar que recibimos viene en forma de radiación solar, y es responsable de aspectos tan importantes como:

- La fotosíntesis en plantas.
- El mantenimiento de la temperatura del planeta, compatible con la vida.
- Del viento.

Además, se sabe que toda la energía que llega a la superficie terrestre es 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad.

La radiación es la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas. Dicha radiación se produce desde la fuente, en este caso el Sol, hacia fuera y en todas direcciones, atravesando el espacio sin necesidad de un medio por el que propagarse. Dependiendo de su longitud de onda y su frecuencia, la radiación tendrá distinta energía, visibilidad y poder de penetración.

Debemos definir pues, la constante solar como la cantidad de energía recibida en forma de radiación por unidad de tiempo y unidad de superficie. El valor promedio sería de unos 1.366 W/ m<sup>2</sup>.

Debemos diferenciar los tipos de rayos que contiene la radiación solar:

- El 49% son rayos infrarrojos (IR) que proporcionan calor.
- El 43% son rayos visibles (VI) que proporcionan luz.
- El 7% son rayos ultravioletas (UV).
- El 1% son otros tipos de rayos.

Los rayos ultravioletas (UV) se subdividen en tres tipos:

- Ultravioleta A o UVA: Atraviesan fácilmente la atmósfera, alcanzando toda la superficie terrestre.
- Ultravioleta B o UVB: Longitud de onda corta. Tiene mayor dificultad para atravesar la atmósfera. Llegan con más facilidad a la zona ecuatorial que en latitudes elevadas.
- Ultravioleta C o UVC: Longitud de onda corta. No atraviesan la atmósfera. Son absorbidos por la capa de ozono.

La banda de radiación fotosintética activa oscilará entre los 400 y 700 nm, correspondiendo al rango de radiación visible, equivalente al 41% de la radiación total. Dentro de este espectro, podemos diferenciar su color según su longitud de onda:

- azul-violeta (400-490 nm)
- verde (490-560 nm)

- amarillo (560-590 nm)
- rojo anaranjado (590-700 nm)

Debido a las características de la atmósfera terrestre, la radiación solar sufre diversas alteraciones al atravesarla y hasta que llega a la superficie terrestre. Brevemente definidas, se resumen en:

- Radiación directa: aquella cuya dirección no ha sufrido variación direccional desde el Sol, se caracteriza porque es aquella que permite proyectar sombras
- Radiación difusa: procede de la reflexión y refracción de la radiación en componentes atmosféricos.
- Albedo: Llega a la superficie por choque con componentes colindantes.

(Planas, 2015)

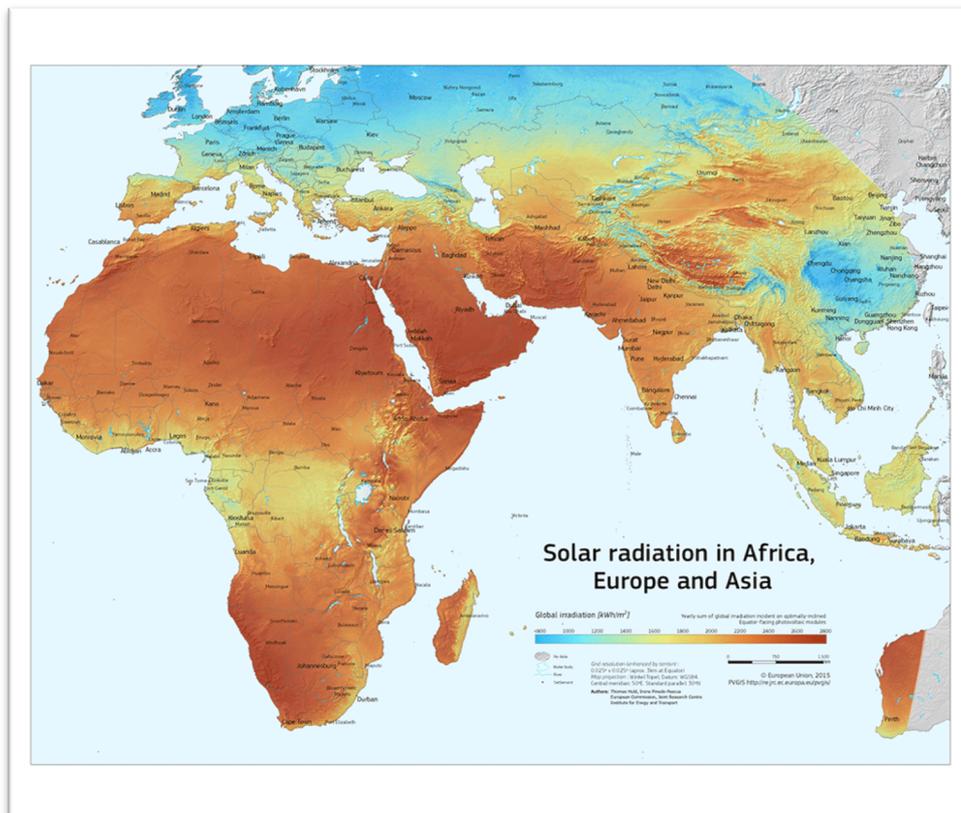


Figura 1: Radiación global en Europa, África y parte de Asia medida en un plano horizontal. Fuente: (PVGIS, 2019)

### 3.1 Situación económica

El papel de las energías renovables en la escena nacional ha sido muy fluctuante debido a las diferentes políticas implementadas y a los diferentes períodos de crisis recientes. La última crisis económica en 2008, llevó a los ciudadanos y las empresas a reducir su consumo de energía y luego optimizarlo mediante la integración de nuevas tecnologías para obtener energía, lo que resultó en un crecimiento del 13% en el PIB, (Figura 2).

Sin embargo, en 2014 la contribución directa al PIB de las energías renovables cayó un 14,5%, situándose en 6.123 millones de euros, un valor muy significativo ya que no se alcanzaron valores tan bajos desde la crisis económica de 2008. Sin embargo, a pesar de esta disminución drástica, la contribución al PIB de las tecnologías renovables conduce a la energía solar fotovoltaica con un 35,33%, seguida de la energía eólica (20,66%) y la energía solar termoeléctrica (17,72%).

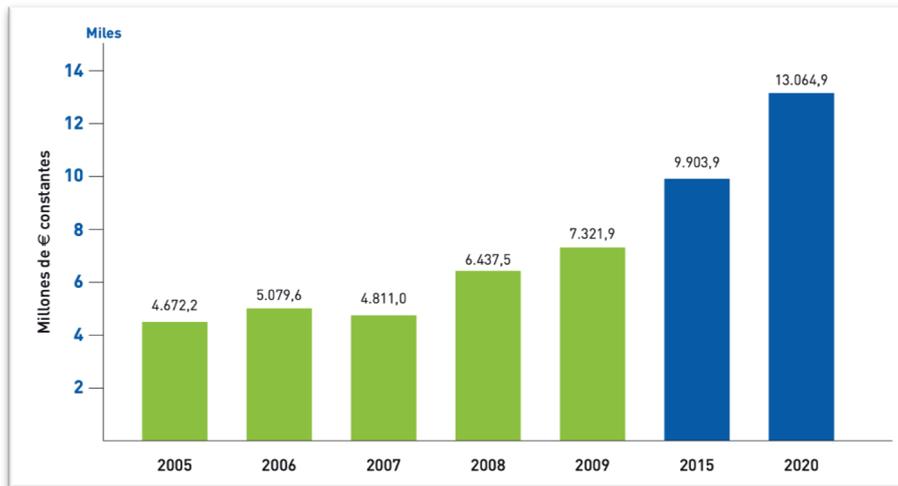


Figura 2: Contribución del sector de las energías renovables al PIB de España en millones de euros reales. Fuente: (IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2019)

Si centramos nuestra atención en el empleo generado, el sector ha perdido casi la mitad de los empleos generados hasta 2008, con un máximo de 136,163 empleos en todo el país, y con un mínimo en 2014 de 70,750 empleos, disminuyendo en un 24,3%. Sin embargo, en los últimos años ha habido un desarrollo de energías renovables con la construcción de parques eólicos y fotovoltaicos, recuperando los valores obtenidos antes de la crisis económica, (Figura 3).

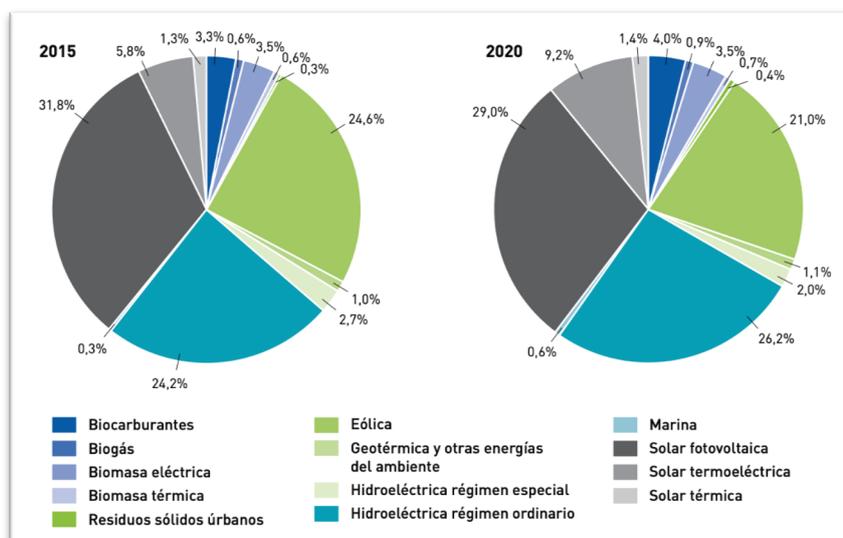


Figura 3: Evolución del porcentaje de aportación al PIB de cada tecnología respecto del total del sector de las energías renovables (2015-2020). Fuente: (IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2019)



Ahora que ya tenemos una visión general de como funciona la radiación solar, se va a explicar como ha evolucionado la tecnología para poder aprovechar esta radiación solar. Para ello debemos tener una visión temporal de la evolución de la tecnología fotovoltaica.



## 4 ANTECEDENTES

### 4.1 Origen de la Energía Solar Fotovoltaica

Las energías renovables son recursos inagotables en nuestro planeta y se renuevan de manera natural, siendo recursos limpios y poco contaminantes. Aunque nos centraremos en la energía solar fotovoltaica, podemos destacar la energía eólica, solar térmica, biomasa, hidroeléctrica, geotérmica, entre otras.

Es complicado establecer cual fue el primer descubrimiento sobre la energía solar. Sabemos que los egipcios y griegos hacían uso del sol, puesto que, con láminas de cobre o plata pulidos, reflejaban esta para darle diversos usos de iluminación y con posterioridad a ellos, los romanos utilizaron por primera vez el cristal para asegurar la iluminación en sus viviendas y mantener el calor dentro del habitáculo.

Cuando navegamos de este modo por la historia podemos conocer los pequeños avances que han tenido lugar en el aprovechamiento de la energía solar, sin embargo, la central solar, debe su origen al físico francés Alexandre Edmon Becquerel, quién en 1839 observó que, una pila eléctrica generaba más electricidad al exponerla a la luz después de sumergirla en una sustancia de las mismas propiedades. Este hecho, supuso un avance indiscutible para la ingeniería energética puesto que se había descubierto el efecto fotovoltaico al convertir la luz solar en energía eléctrica.

Desde ese momento y hasta la actualidad, el desarrollo en esta materia ha sido imparable. Cabe destacar que, en 1876 entró en juego el selenio a manos de un profesor inglés de nombre William Grylls Adams, quien observó como este elemento semiconductor reaccionaba al ser expuesto a la luz generando un flujo eléctrico. Se descubría así, la electricidad fotoeléctrica.

Tras estos descubrimientos, en 1883 se construyó el primer panel solar de la historia, invento que se le atribuye a Charles Fritts. Charles decidió extender el selenio sobre un soporte metálico y recubrirlo de una capa de oro, para que fuera transparente a la luz. A pesar de tener una eficiencia de solo un 1-2%, aquél hecho significaría un hito en el ámbito de la energía solar al crearse el primer módulo fotoeléctrico.

Finalmente, en 1946, Russell Ohl patentó lo que hoy conocemos como célula solar moderna y en 1954, los Laboratorios Bell desarrollaron y comercializaron las primeras células solares de silicio. (Axial Structural Solutions, 2017)

Una de sus primeras aplicaciones fue en el ámbito espacial como fuente auxiliar energética del satélite estadounidense Vanguard I, lanzado al espacio en 1958 (Figura 4).

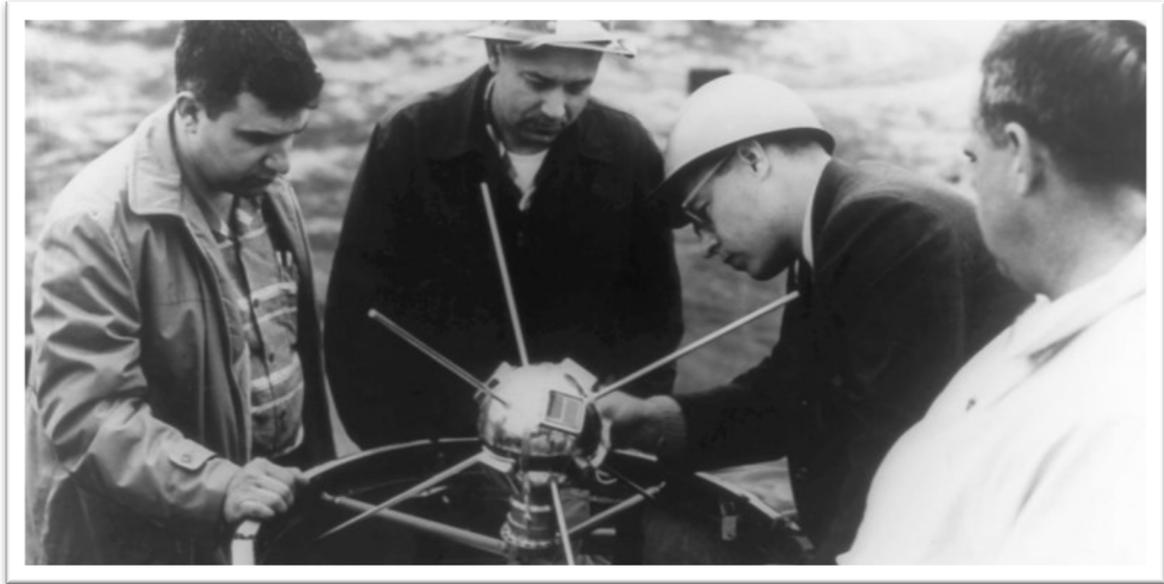


Figura 4: Satélite estadounidense (Raffino, 2019) I. Fuente: Google

No fue hasta la década de los 80 cuando comenzaron a producirse paneles solares a gran escala, convirtiéndose la energía solar fotovoltaica en uno de los tipos de energías renovables más importante actualmente.

Mediante la energía solar fotovoltaica se obtiene electricidad como consecuencia de la transformación de la radiación emitida por el sol y que llega al módulo fotovoltaico. Esta transformación es posible gracias a la unión P-N de los semiconductores que llevan las células fotovoltaicas. Esta unión P-N es un semiconductor dopado de tal manera que una zona es de tipo P (con átomos de 3 electrones de valencia) y otra de tipo N (átomos pentavalentes). Las dos zonas están en contacto a través de la llamada unión P-N y esta será la base del funcionamiento de diodos, transistores y tiristores (figura 5).

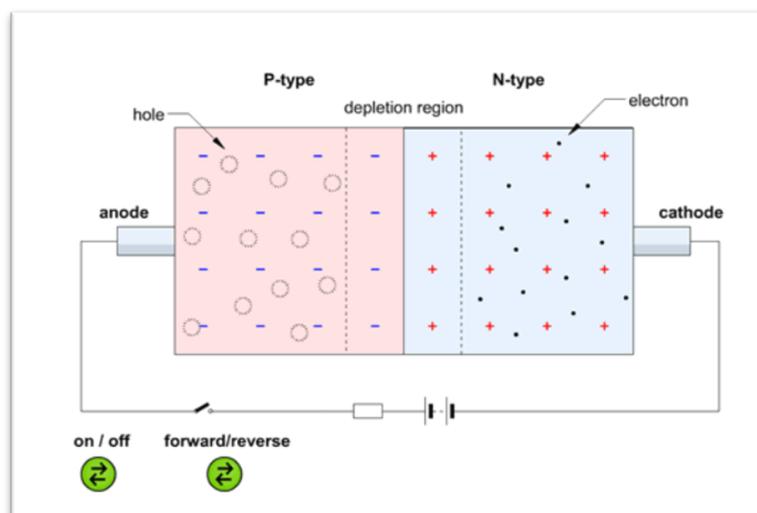


Figura 5: Unión P-N no polarizada. Fuente: (Landín, s.f.)

Existen distintos materiales de los que se componen estos semiconductores, sin embargo, cabe destacar que el material más utilizado debido a su fácil y abaratado coste de adquisición y buena conductividad, es el Silicio, (Tabla 1).

Tabla 1: Conductividad de distintos materiales usados para semiconductores. Fuente: (SFV- Fundamentos Celdas, 2018)

MATERIAL	$E_g$ (eV)
Si	1.14
Ge	0.67
GaA	1.4
GaP	2.25
Te	0.33
CdS	2.42
CdTe	1.45
CdSe	1,72
Cu <sub>2</sub> O	2.1
TiO <sub>2</sub>	3.0
Cu <sub>2</sub> S	1.2

Debido al desarrollo continuo de la energía solar, surgieron distintos tipos de células fotovoltaicas, (Figura 6). Vamos a destacar las más importantes:

Células de silicio monocristalino (M-Si) → constituido por un único cristal de silicio con estructura uniforme. Este tipo de célula garantiza un rendimiento superior al resto de tecnologías gracias a sus átomos de silicio, que están perfectamente alineados, favoreciendo la conductividad.

Célula de silicio policristalino (P-Si) → formada por muchos cristales de silicio. Su coste es bastante bajo en comparación con las otras tecnologías, pero tiene un rendimiento inferior.

Células de capa delgada (Thin-Film) → Es el resultado de depositar varias capas de material fotovoltaico sobre una base. Respecto a los cristalinos, su fabricación es mas sencilla, pero a costa de un menor rendimiento.

También destacaremos las celdas solares sensibilizadas por colorante (DSC), celdas de cobre indio galio y selenio (CIS o CIGS), celdas de telururo de cadmio (CdTE) y celdas de silicio amorfo y otros silicios de película delgada (TF-Si). (Energía Solar, 2016)

A partir de 2018, cabe destacar que la tecnología basada en silicio se convirtió en la predominante, representando aproximadamente el 95% de la producción total. La eficiencia de estos módulos de silicio ha aumentado en los últimos años de 12% al 17% a grandes rasgos, (Figura 7).

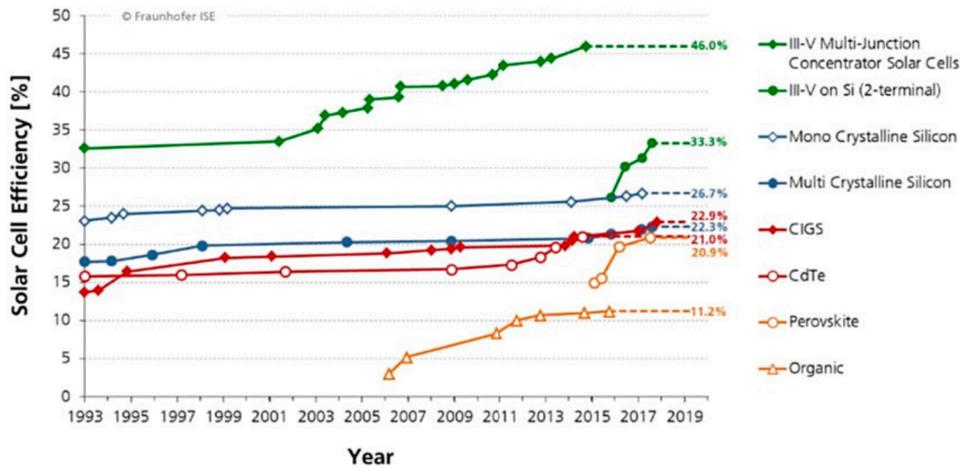


Figura 6: Evolución del rendimiento de las tecnologías de células solares en los últimos 25 años. Fuente: (Mártel, 2019)

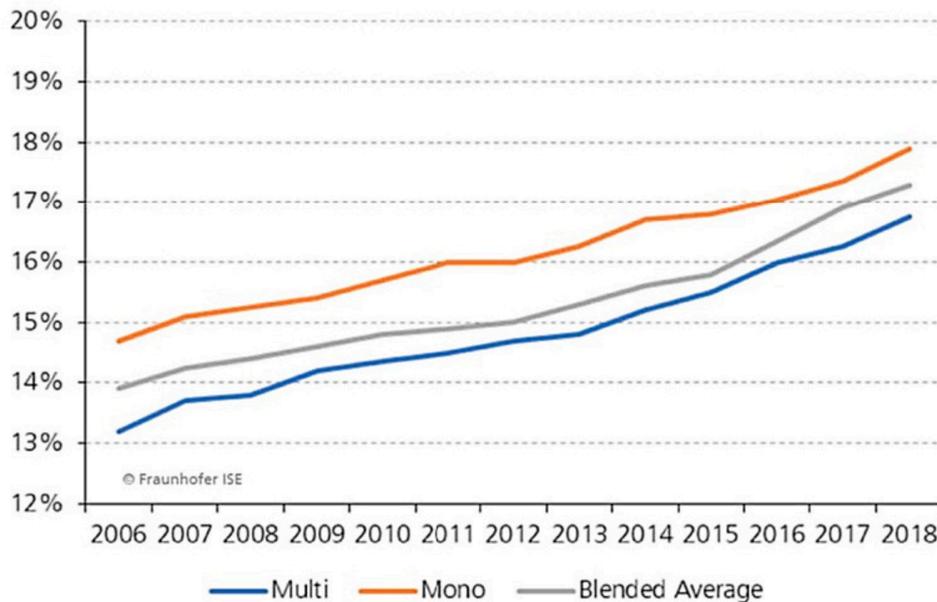


Figura 7: Evolución del rendimiento de los módulos fotovoltaicos de silicio en los últimos 12 años. Fuente: (Mártel, 2019)

Como podemos observar en las gráficas anteriores, al alcanzar rendimientos mayores al 33%, ya es igualable a otras energías convencionales. Por ello, tecnológicamente, podemos decir que la energía fotovoltaica ya es competitiva. Uno de los principales factores que permite esto es el coste de los módulos de silicio. La reducción continua en la cantidad de material empleado para su fabricación ha permitido disminuir cada vez más su precio. La cantidad de silicio reducido ha bajado de 16g/W hasta 4g/W debido a una mayor eficiencia y al desarrollo.

A partir de estas celdas fotovoltaicas se construyen los paneles fotovoltaicos y con este campo fotovoltaico se constituyen las instalaciones fotovoltaicas.

Podemos encontrar dos tipos de instalaciones fotovoltaicas:

- Aisladas: permiten el suministro energético en aquellas viviendas o naves donde no existe previa instalación eléctrica ni contrato con la compañía eléctrica. Estas instalaciones se realizan en lugares donde sin la instalación fotovoltaica no podría haber suministro eléctrico, ya sea por decisión propia del propietario, o por la complejidad del suministro energético o distancia a la que se encuentra el terreno.
- Conectadas a la red: instalaciones en viviendas, naves o cualquier infraestructura donde existe un consumo energético que se desea reducir y sustituir por la instalación fotovoltaica.

## **4.2 Situación Energética Internacional**

Para poder ubicar la situación energética internacional, se va a consultar un documento sobre la transformación energética desarrollado por IRENA (International Renewable Energy Agency), (Irena, 2018).

Según este estudio, la decarbonización del sector eléctrico, sustituyéndolo por fuentes de energías renovables, es uno de los pilares para la transición hacia un futuro energético sostenible, la cuota de energías renovables de los países que firmaron el Acuerdo de París, deberá pasar del 25% en 2017 al 85% en 2050 en el sector eléctrico. Las energías renovables que más se van a potenciar en el futuro son la energía solar y la eólica.

Según los últimos estudios, en el año 2017 el sector eléctrico sumó 167 GW de capacidad energética renovable en todo el mundo, suponiendo un aumento respecto al año anterior de un 8,3%. Sin embargo, este ritmo de crecimiento no sería suficiente para afrontar la demanda energética mundial y, por lo tanto, el ritmo de producción debería acelerarse.

Los sectores de industria, transporte y edificios tendrán que utilizar más energía renovable. En estos sectores debe haber una importante presencia de fuentes renovables, con un incremento del suministro de electricidad renovable, pero también de la energía solar térmica, la geotermia y la bioenergía. La electricidad renovable tendrá un papel cada vez más importante, pero los combustibles renovables y los usos directos que hacen falta para el calor y el transporte representan una gran contribución

La eficiencia energética es crítica en el sector de edificios. Sin embargo, la lentitud con la que mejora la eficiencia energética en el sector, debido en parte a que la tasa de renovación de los edificios es muy baja, tan solo el 1 % anual del parque inmobiliario, sigue siendo un serio problema. Es necesario triplicar esta tasa de renovación. En el sector industrial, la elevada demanda energética de determinadas industrias, el elevado contenido en carbono de determinados productos, y las elevadas emisiones de los

procesos obligan a encontrar soluciones novedosas y adoptar el concepto del ciclo de vida. Estas tasas de mejora se ven representadas en la figura 8.

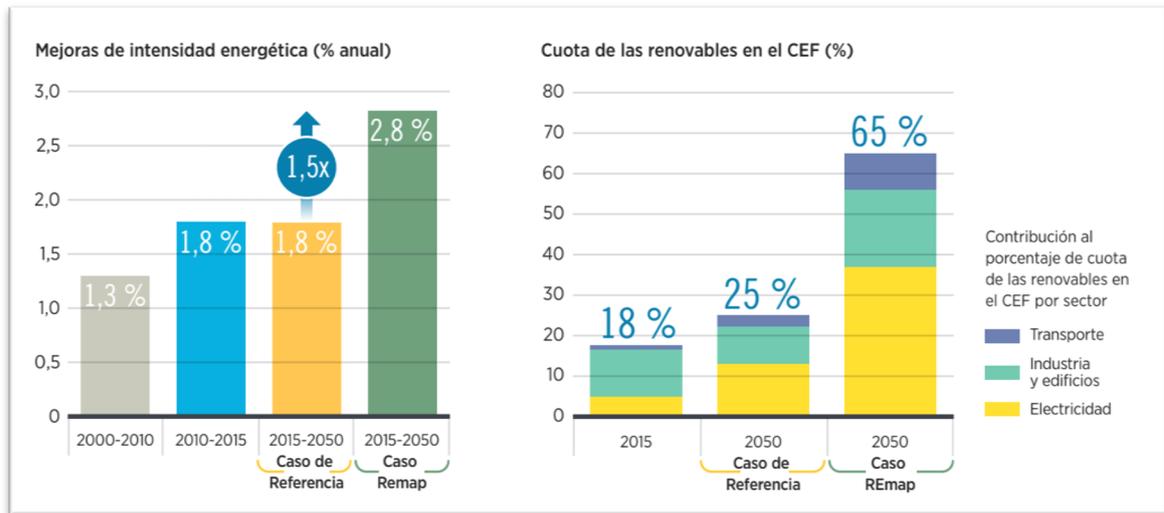


Figura 8: Tasa de mejora de la intensidad energética (% anual) y cuota de la energía renovable en el CEFT (%), casos referencia y REmap, 2015-2050. Fuente: (Irena, 2018)

Según el estudio de IRENA y tras analizar la figura 8, la transformación energética mundial es positiva desde el punto de vista económico. Los costes adicionales de una transición energética integral ascenderían a 1,7 billones de USD (United State Dollars) al año en 2050. Sin embargo, estos costes se compensarían de largo con los beneficios en materia de salud y reducción de la contaminación atmosférica y los daños ambientales. (Irena, 2018)

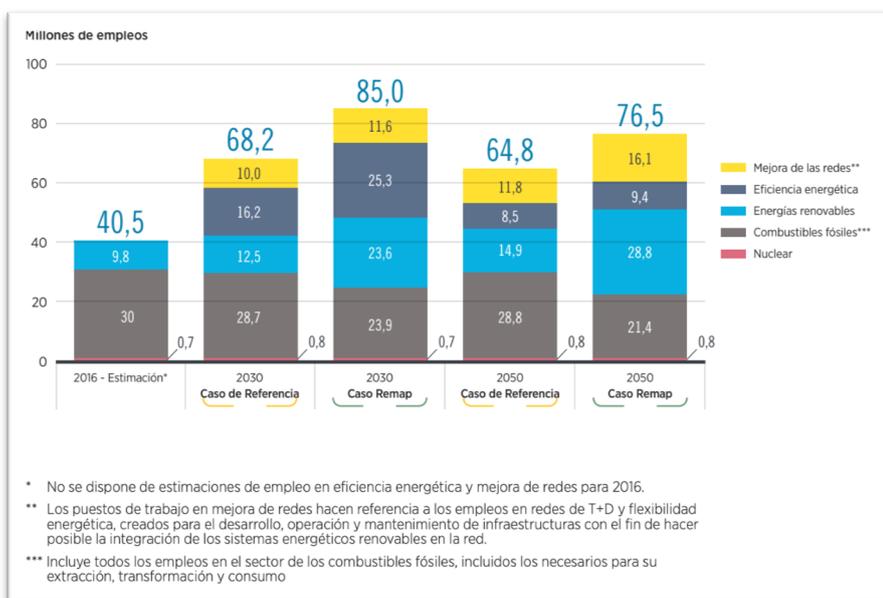


Figura 9: Empleo en el sector energético total en 2016, 2030 y 2050 (en millones de puestos de trabajo. Fuente: (Irena, 2018)



Respecto al bienestar social, la transición a las energías renovables puede dar un gran impulso al empleo general en el sector energético. En general, creará más puestos de trabajo en el sector energético de los que se perderán en la industria de los combustibles fósiles. (Figura 9), (Irena, 2018).

Según este estudio de Irena, todas las regiones del mundo están en disposición de beneficiarse de la transformación energética, si bien el reparto de estos beneficios varía según el contexto socioeconómico. Como cabía esperar, los beneficios socioeconómicos no se reparten uniformemente entre países y regiones. Esto es debido a que los efectos son diferentes en función de la dependencia de los combustibles fósiles que tenga cada país o región, de su ambición en relación con la transición energética y de sus características socioeconómicas. En lo que respecta al bienestar, las mayores mejoras totales se observan en México, seguido de cerca de Brasil, India y los países y territorios de Oceanía. Otras regiones, como el resto de Asia Oriental, África Meridional, Europa Meridional y Europa Occidental también registran elevados beneficios en bienestar. Las ventajas ambientales son parecidas en todos los países, porque la principal de ellas es la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), dada su naturaleza global. Los beneficios netos regionales en el empleo fluctúan a lo largo del tiempo, pero el impacto es positivo en casi todos los países y regiones, (Irena, 2018).

#### 4.2.1 Producción de Energía Solar Fotovoltaica Global

El mercado mundial de la energía fotovoltaica está y se mantiene en una rápida expansión. Actualmente, los principales fabricantes de módulos fotovoltaicos del mundo (Yingli, Trina Solar) están localizados en China y Taiwán, aportando el 70% de la producción global. Al 15% contribuyen otros países de Asia. América del Norte contribuye con el 4% de la producción y Europa sólo aporta el 3%.

Para más exactitud y según datos del IEA (Agencia Internacional de la Energía) (Figura 10), en 2016 la producción de energía fotovoltaica por los países mencionados fue de:

- China: 75.256 GWh
- Estados Unidos: 46.633 GWh
- Alemania 38.098 GWh

La producción de energía solar fotovoltaica en España llegó a los 8.070 GWh.

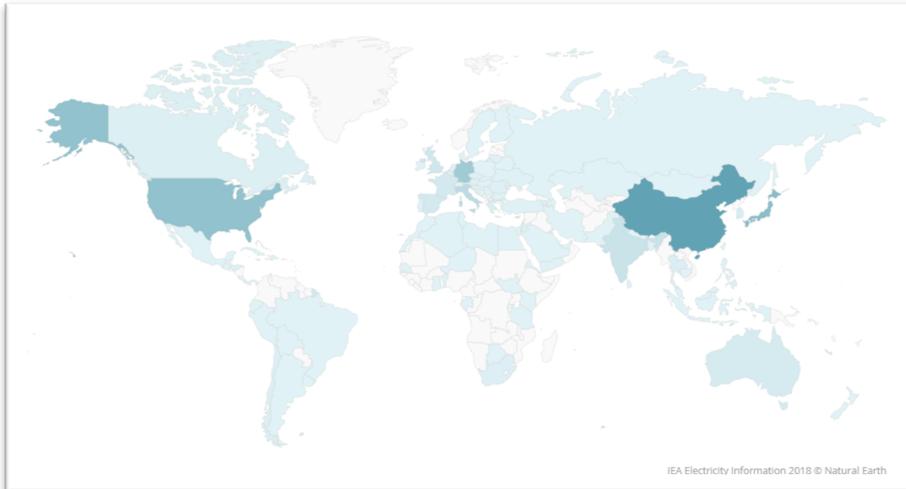


Figura 10: Generación de energía solar fotovoltaica en 2016. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE)

#### 4.2.2 Producción de Energía Solar Fotovoltaica en España

España es uno de los países europeos que disfrutan de mayor cantidad de horas de sol. Aprovechando este factor y junto al compromiso europeo de instalación de energías renovables, se pretende conseguir la disminución de la dependencia energética exterior y aumentar la autonomía energética española.

En referencia a esto, cabe destacar la reciente aprobación del primer proyecto de Ley de cambio climático y transición energética para alcanzar la neutralidad de emisiones para 2050 a fecha 19/05/2020. Los objetivos de dicha ley se nombran a continuación:

- *El texto articula la respuesta país al desafío del cambio climático, orienta la acción integrando objetivos y herramientas y minimiza impactos negativos para la economía, la sociedad y los ecosistemas*
- *En un contexto de reactivación de la economía frente al COVID-19, el proyecto posiciona a España para que aproveche las oportunidades que abre la transición ecológica en términos de modernización de la economía, de una nueva reindustrialización, de generación de empleo y de atracción de inversiones*
- *Es un proyecto necesario para articular el resto de las políticas y medidas. Debe servir de marco institucional, de referente para dar certidumbre y estabilidad a todos los actores, públicos y privados, y a movilizar la acción climática*
- *Se trata de un texto ampliamente participado, que da respuesta, por un lado, a las demandas generales de la sociedad ante la respuesta a la emergencia climática, y por otro, a las sugerencias y alegaciones que se han ido recibiendo en su proceso de elaboración.*

(Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020).

En España, la primera central fotovoltaica conectada a red la instaló Iberdrola en el año 1984. Esta conexión de 100kWp, fue la única con la que contó el país en casi 10 años. A

partir de aquí, el desarrollo de dicha tecnología ha hecho que se vea en esta el futuro de la autonomía energética española.

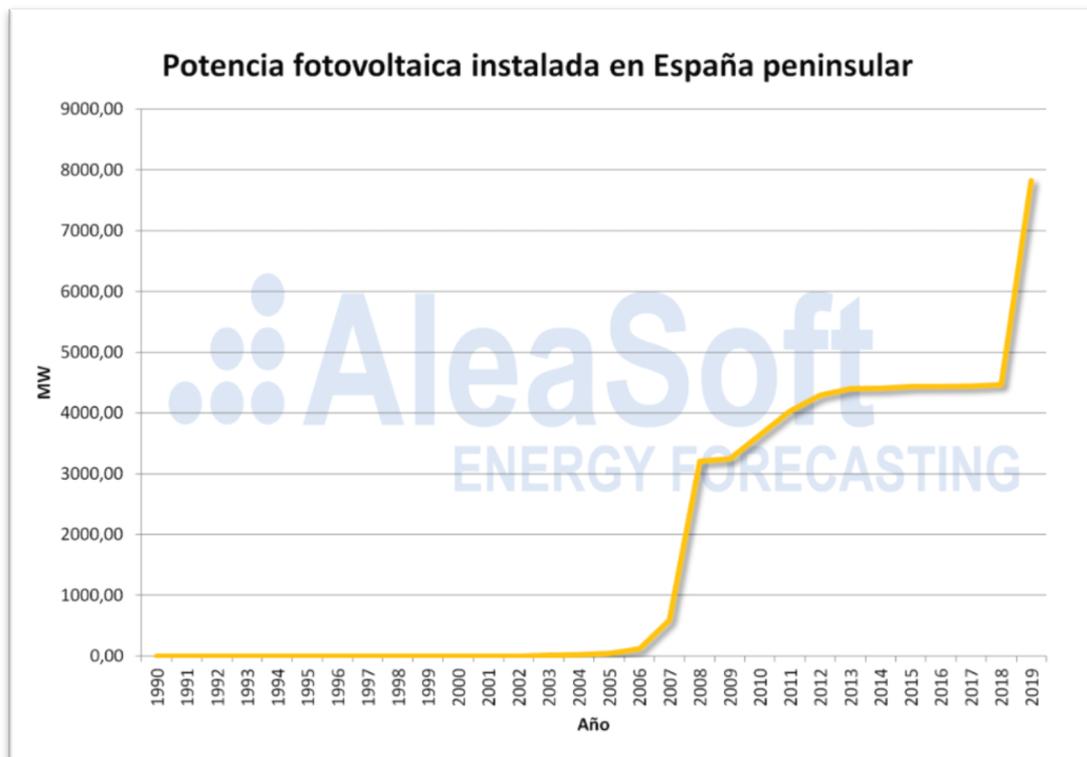


Figura 11: Potencia fotovoltaica instalada en España peninsular. Fuente: (REVE, 2020)

Como observamos en la gráfica anterior (Figura 11), España pasó en sólo dos años de ser una fuente testimonial, a superar a la producción hidroeléctrica por bombeo puro. Sin embargo, el parón que podemos observar entre el 2008 y el 2018, se debió a la gran crisis económica, aunque incluso en este periodo, la energía solar se posicionó segunda en el crecimiento de potencia instalada.

Tras la salida de la crisis, el mundo de la energía solar sufrió varios impedimentos legislativos, entre los que cabe destacar:

- El impuesto del 7% sobre la generación energética con el Real Decreto-Ley 9/2013 del 12 julio 2013 (BOE, 2013), y que fue suspendido en octubre de 2018 con el Real Decreto-Ley 15/2018 del 5 de octubre 2018 (Iberley, 2018)
- El popularmente conocido “impuesto al sol”, como parte del impuesto sobre la generación energética, con el Real Decreto-Ley 900/2015 del 9 de octubre 2015 (BOE, 2015) y que fue derogado el 5 de octubre de 2018 con el Real Decreto-Ley 15/2018 como plan de medida para abaratar la factura eléctrica (Iberley, 2018).

A pesar de estas trabas y gracias al abaratamiento de las placas solares y al progreso tecnológico, la energía fotovoltaica ha continuado con una progresión ascendente.

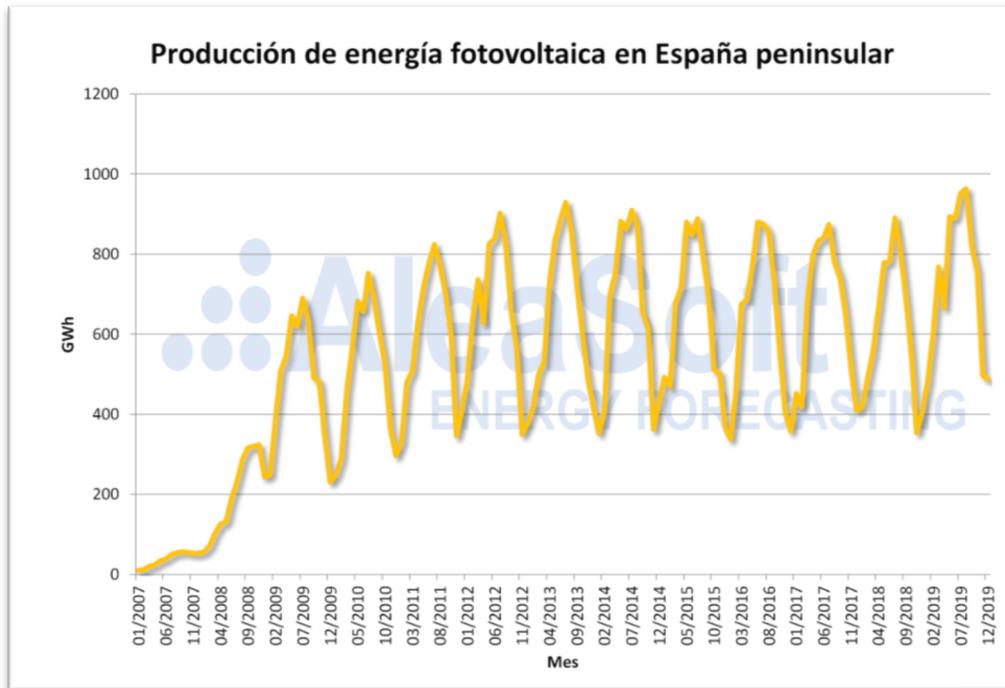


Figura 12: Producción de energía fotovoltaica en España peninsular. Fuente: (REVE, 2020)

En la actualidad, existe una clara apuesta por la utilización de la energía fotovoltaica gracias al Real Decreto-Ley 244/2019 del 5 abril 2019 (BOE, 2019). Este Decreto promueve y habilita el autoconsumo por lo que se podría decir que el 2019 ha sido el año del regreso real a la apuesta por la energía fotovoltaica. Prueba de ello, es que, de los 4GW de potencia de generación renovable en el año 2019, el 64% fue energía fotovoltaica, (Figura 12).

El futuro de la energía fotovoltaica parece estar garantizado. Según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) al trazar la meta del sector eléctrico renovable hasta 2050, se prevé una potencia instalada de 44GW de energía solar de los cuales 37GW será de energía fotovoltaica, convirtiéndola así en la tecnología renovable de mayor crecimiento en los próximos 10 años.

### 4.3 Situación energética autonómica

Si nos centramos en la situación energética por comunidades autónomas, Castilla-La Mancha destaca como la región con más potencia solar fotovoltaica instalada con casi 20% de toda la potencia nacional. Le sigue de cerca Andalucía y en tercer lugar, aunque algo más alejadas en porcentaje Extremadura y Castilla y León. Sólo con estas cuatro comunidades, se engloba el 61% de la potencia fotovoltaica instalada en España. Por otro lado, las comunidades de la cornisa cantábrica, se sitúan todas ellas por debajo de 1% respecto al conjunto nacional (Figura 13).

Respecto a la energía solar térmica, tan solo seis comunidades de España tienen este tipo de instalación, siendo Andalucía la región con más potencia instalada, seguida por Extremadura. Ambas acaparan el 80% de la potencia instalada total de esta tecnología.

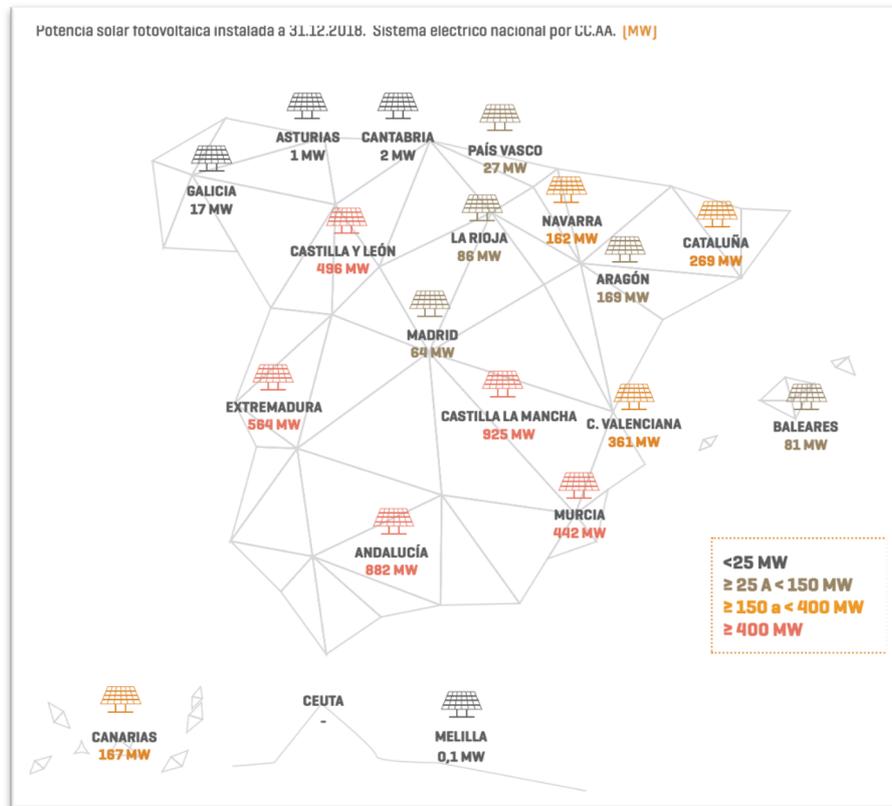


Figura 13: Potencia solar fotovoltaica instalada a 31,12,2018. Sistema eléctrico nacional por CC.AA. Fuente: (Red Eléctrica de España, 2018)

La Comunidad Valenciana, ocupa el sexto lugar en el ranking de potencia fotovoltaica en España, y genera un poco menos de la mitad de la energía que genera la comunidad puntera de Castilla-La Mancha (figura 14).

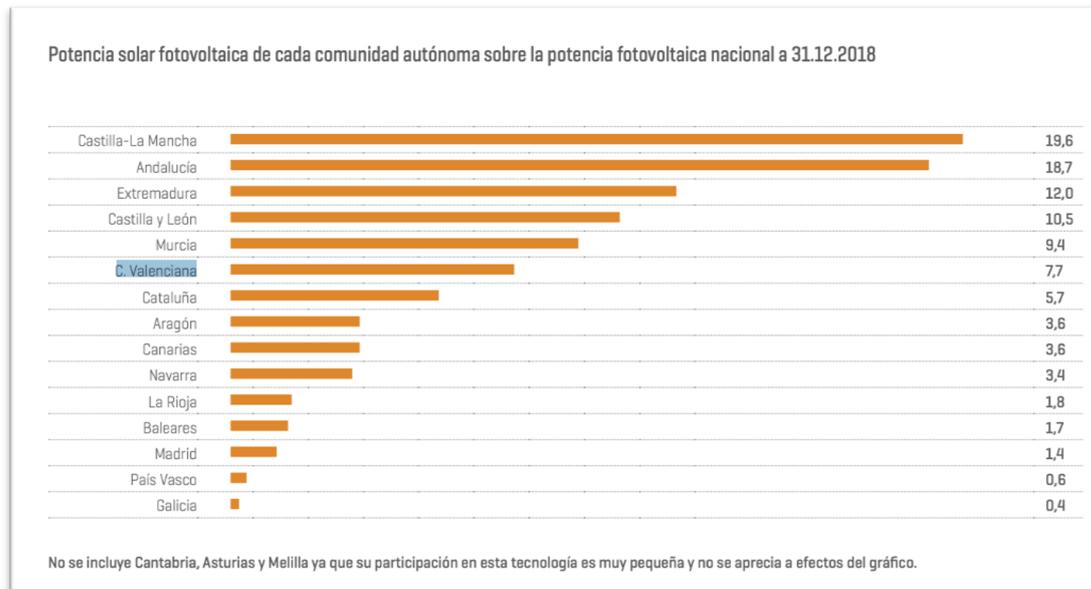


Figura 14: Potencia solar fotovoltaica de cada CC.AA sobre la potencia fotovoltaica nacional a 31,12,2018. Fuente: (Red Eléctrica de España, 2018)

Finalmente, en la figura 15, podemos ver la aportación de cada tipo de energía renovable (fotovoltaica, solar térmica, eólica, hidráulica y de biomasa) desglosada por CCAA.

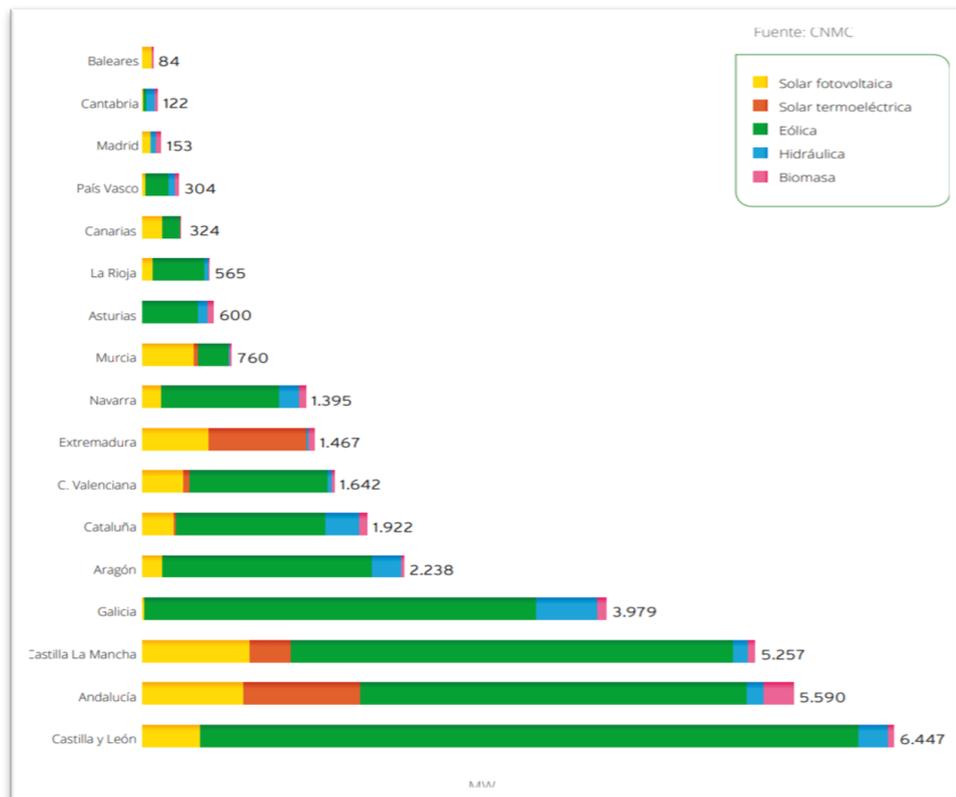


Figura 15: Potencia instalada de tecnologías renovables por comunidades autónomas en 2014. Fuente: (CNMC, s.f.)

#### 4.4 Medidas legislativas

Debemos analizar el cambio de normativa y objetivos que han ido desarrollándose a lo largo de los años.

Comenzaremos explicando los objetivos que se establecieron para el 2020 y de ahí en adelante hasta 2050, (Figura 16).

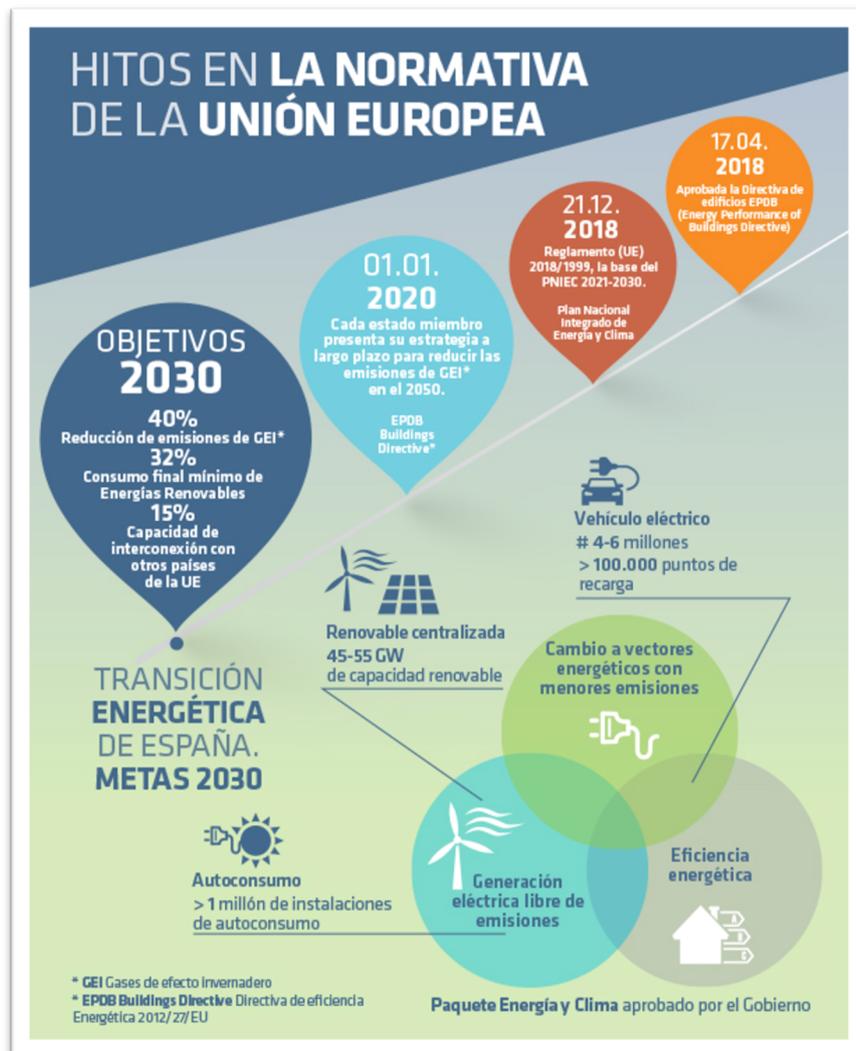


Figura 16: Hitos en la normativa de la Unión Europea. Fuente: (Prysmian, 2019)



#### 4.4.1 Objetivos 2020

Las metas, establecidas por los dirigentes de la UE en 2007 e incorporadas a la legislación en 2009, también figuran entre los objetivos principales de la estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

En la denominada Estrategia 20-20-20 quedó plasmada como una de las metas prioritarias en la política europea, el ahorro y eficiencia energética. Dicha estrategia consiste en:

- 20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990)
- 20% de energías renovables en la UE
- 20% de mejora de la eficiencia energética.

Para alcanzar estos objetivos la UE se centra en diversos ámbitos:

- Régimen de comercio de derechos de emisión (RCDE).
- Objetivos nacionales de reducción de las emisiones.
- Energías renovables (objetivos nacionales).
- Innovación y financiación.
- Otros efectos positivos.

(Comisión Europea, s.f.)

#### 4.4.2 Objetivos 2030

En el caso de las metas para 2030, la ONU establece lo siguiente:

*Objetivos clave para 2030:*

- *al menos un 40% de **reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero** (con respecto a 1990)*
- *al menos un 32% de cuota de **energías renovables***
- *al menos un 32,5% de mejora de la **eficiencia energética***

(Comisión Europea, s.f.)

#### 4.4.3 Objetivos 2050

La Comisión Europea, tras la cumbre que marcó los objetivos para 2050, estableció que:

- *El 28 de noviembre de 2018, la Comisión presentó su visión estratégica a largo plazo para una economía próspera, moderna, competitiva y neutra desde el punto de vista del clima de aquí hasta el 2050 (tabla 2).*
- *La estrategia muestra cómo Europa puede liderar el camino hacia la neutralidad climática mediante la inversión en soluciones tecnológicas realistas, la capacitación de los ciudadanos y la armonización de la acción en ámbitos clave como la política industrial, la financiación o la investigación, garantizando al mismo tiempo la justicia social para una transición justa.*

- *A raíz de las invitaciones formuladas por el Parlamento Europeo y el Consejo Europeo, la visión de la Comisión para un futuro climáticamente neutro abarca prácticamente todas las políticas de la UE y está en consonancia con el objetivo del Acuerdo de París de mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de 2 °C y de proseguir los esfuerzos para mantenerlo en 1,5 °C.*

(Comisión Europea, 2018)

En la tabla 2 podemos ver un resumen de lo comentado anteriormente.

*Tabla 2: Resumen objetivos energéticos y climáticos de la UE. Fuente: Unión Europea*

	ANO		
	2020	2030	2050
<b>Objetivos</b>	Reducción del <b>20%</b> en las emisiones de gases invernadero desde 1990	Reducción del <b>40%</b> en las emisiones de gases invernadero desde 1990	Reducción del <b>80-90%</b> en las emisiones de gases invernadero desde 1990
	<b>20%</b> de la energía de procedencia renovable	<b>32%</b> de la energía de procedencia renovable	
	Mejora del <b>20%</b> la eficiencia energética	Mejora del <b>32,5%</b> la eficiencia energética	

## 4.5 Desarrollo Sostenible

### 4.5.1 Objetivos de la ONU (ODS)

Al conjunto de 17 objetivos y 169 metas destinadas a resolver los problemas sociales, económicos y ambientales del mundo durante los próximos 15 años (2015-2030) se les llaman Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Dichos objetivos sustituirán a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

Estos objetivos, fueron establecidos por representantes de 70 países, quienes posteriormente redactaron las metas. Además, las naciones Unidas llevaron a cabo una consulta pública mundial para saber la opinión a cerca de sus prioridades con relación a los objetivos.



Los ODS en cuestión serían:

1. *Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.*
2. *Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.*
3. *Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos para todas las edades.*
4. *Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos.*
5. *Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.*
6. *Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.*
7. *Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos.*
8. *Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.*
9. *Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.*
10. *Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos.*
11. *Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.*
12. *Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.*
13. *Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos adoptados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).*
14. *Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.*
15. *Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.*
16. *Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.*
17. *Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.*  
(ONU, s.f.)

Como podemos apreciar el uso de energías renovables tiene como efecto el alcance de gran parte de los objetivos establecidos, por lo que es fácil concluir que son el futuro.

#### 4.5.2 Principales cumbres Climáticas

En la figura 17, se observan las distintas cumbres climatológicas celebradas hasta la actualidad.



Figura 17: Principales cumbres climáticas y sus hitos. Fuente: (Iberdrola, 2018).

Entre todas las cumbres, cabe destacar las tres más importantes por orden cronológico.

##### 4.5.2.1 Acuerdo de Kioto 1997

Este acuerdo, supuso en su momento, el primer compromiso a nivel global, para poner freno a las emisiones responsables del calentamiento global. Además, sentó las bases para los acuerdos internacionales futuros sobre el cambio climático.

A pesar de que este acuerdo se firmó el 16 de marzo de 1998, no fue hasta 16 de febrero de 2005 cuando entró en vigor.

Los objetivos de este acuerdo, firmado por 180 países, hacían comprometerse a reducir un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático sobre los niveles que tenían en 1990 para el periodo de 2008-2012. En la figura 18, se observa la evolución negativa de los gases de efecto invernadero a lo largo de los años.

Cabe destacar dos ausencias importantes en este acuerdo, EEUU a pesar de ser en ese momento el mayor contaminante del planeta y Australia.

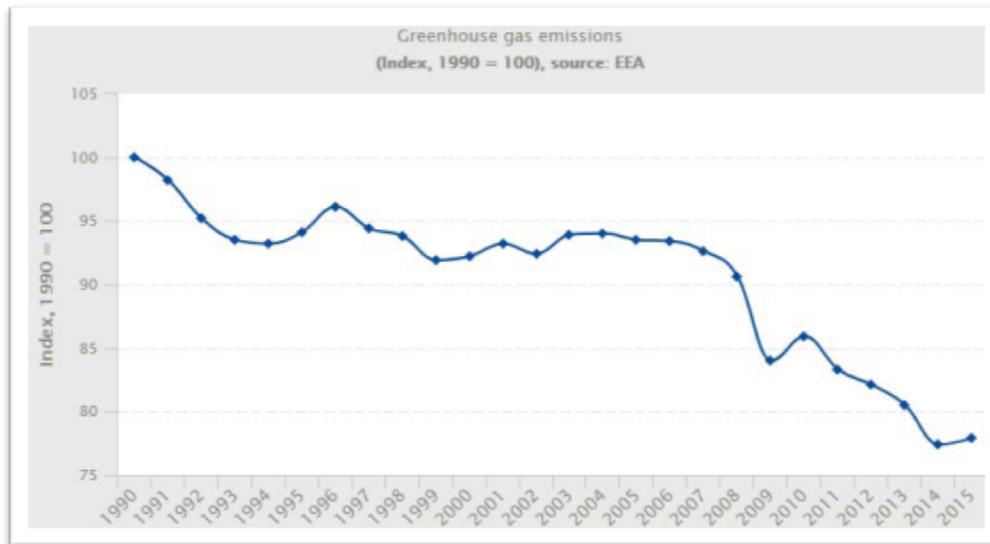


Figura 18: Emisiones gases efecto invernadero desde 1990 en la Unión Europea. Fuente: Eurostat

#### 4.5.2.2 Acuerdo de París 2015

En diciembre de 2015 tuvo lugar el Acuerdo de París, con el objetivo de asegurar la vida de nuestro planeta, constituyendo un enlace entre las políticas actuales y donde se estableció la neutralidad climática que debería existir a finales de este siglo.

El Acuerdo de París, es un acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Con dicho acuerdo y junto con la Conferencia de la ONU sobre el Clima (COP 21) se decidió centrarse en los siguientes aspectos:

- **Mitigación:** Reducir las emisiones lo suficientemente rápido como para lograr el objetivo de que la temperatura del planeta no se eleve por encima de 1,5 grados centígrados en 2100.
- Un **sistema de transparencia** y de balance global para la acción climática.
- **Adaptación:** Fortalecer la habilidad de los países para hacer frente a los impactos climáticos.
- **Pérdidas y daños:** Fortalecer los mecanismos para recuperarse de los impactos climáticos.
- **Apoyo financiero:** Para que los países menos desarrollados apuesten por economías bajas en carbono.

Este acuerdo, también se involucra en el apoyo a países en desarrollo y establece como objetivo global, fortalecer la adaptación al cambio climático a través del apoyo y la cooperación internacional.

(Corresponsables, 2015)



#### 4.5.2.3 *Acuerdo Chile 2019*

A pesar de ser la COP 25 de Chile, esta se celebró en Madrid (España) entre el 3-15 de diciembre de 2019.

Tras varios intentos de negociación fracasados, la COP 25 se ha convertido en la conferencia sobre el clima más larga de la historia, prorrogándose dos días a falta de acuerdo.

En esta cumbre, sólo se consiguió que 84 países se mostraran comprometidos con los recortes de emisiones en 2020, entre ellos Alemania, Reino Unido, Francia y España. Sin embargo, los grandes responsables de las emisiones como EE. UU., China, Rusia o India, no se vieron comprometidos ante este objetivo.

A pesar de todo, no se alcanzó un acuerdo, calificándose por algunos asistentes a dicha cumbre COP 25 como “triste y decepcionante con el resultado final”.

#### 4.5.3 Objetivos Unión Europea

Como ya hemos comentado anteriormente, la Unión Europea se propuso diferentes objetivos climáticos y energéticos con el objetivo de lograr una economía baja en carbono reduciendo las emisiones de este.

Para los objetivos establecidos para 2020, la UE está próxima de alcanzarlos, ya que la reducción de emisiones entre 1990 y 2017 cayó un 22%, pese a que se produjo un ligero aumento del 0,6% entre 2016 y 2017 debido al aumento de la industria.

Existe un control obligatorio de las emisiones de gases de efecto invernadero, para verificar que todos los países de la UE cumplen estos objetivos, bajo un mecanismo de monitoreo que engloba: políticas y medidas para reducir emisiones de 7 gases de efecto invernadero, medidas de adaptación al cambio climático, estrategias bajas en carbono, apoyo económico y técnico para los países en desarrollo y subasta de derechos de emisión entre los países de la UE.

El objetivo final si se logra cumplir dichos acuerdos será, en definitiva, crear un futuro sostenible basado en energías no contaminantes.

Así pues, tras haber visto el desarrollo cada vez mayor de la tecnología fotovoltaica como energía renovable y de los compromisos adquiridos con el cambio climático en las distintas cumbres y pactos mundiales, es momento de aportar mi grano de arena para apoyar en la causa medio ambiental y tener un compromiso firme con las energías renovables, y para ello, se continuará con la descripción del estudio técnico y de viabilidad económica de dos instalaciones fotovoltaicas el centro educativo de Godella.

## 5 POBLACIÓN DE GODELLA

Antes de hacer cualquier tipo de estudio solar sobre cualquier área, se debe verificar que no se trata de una zona protegida, de lo contrario no podríamos poner ningún tipo de instalación solar.

Se recurrió a la web del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente para obtener un mapa de España con las diferentes zonas protegidas y el motivo de su protección y por consiguiente, del área de Godella.

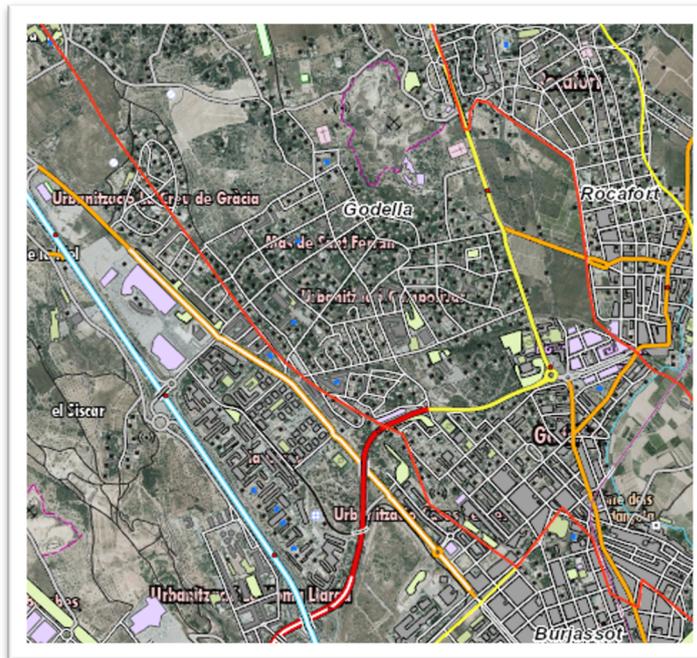


Figura 19: Captura de pantalla del visor de cartografía de la población de Godella. Fuente: (Instituto cartográfico de Valencia, 2020)

Como se puede observar en la figura 19, en la zona ampliada que se corresponde con el visor de cartografía de la población de Godella no existe ninguna restricción medioambiental que impida la instalación de placas solares.

### 5.1 Alcance de la instalación fotovoltaica

Tras fijar con el centro educativo los objetivos principales y tras haber estudiado el terreno disponible para la instalación de paneles fotovoltaicos, se llegó a la conclusión de que el centro educativo pretendía conseguir producir parte o la totalidad de la demanda energética generada.

Por lo tanto, para poder cumplir con este objetivo, el trabajo, se plantea sobre el estudio en profundidad de varios posibles escenarios, que, en adelante, designaremos como CASO 1 y CASO 2:

**Caso 1:** la instalación de tantas placas solares necesarias para cubrir **la demanda de energía en las horas llana (08:00h-18:00h)**. Esta franja horaria coincide con las horas de apertura del colegio y con las horas de mayor luz solar.

Analizando las facturas durante un periodo de un año entero (2019), solamente en esta franja horaria, el centro educativo tuvo una demanda energética de **42.368kWh**. Este consumo se corresponde con el 64,4% de la demanda total que tendría el centro educativo estudiado.

Para poder cubrir esta demanda anual, se requerirán un total de 100 paneles solares.

**Caso 2:** la instalación de tantas placas solares necesarias para cubrir **la demanda total de energía durante un año**. La demanda total del centro, asciende a **66.378 kWh**. Este consumo energético se podría cubrir con la instalación de un total de 150 placas fotovoltaicas.

Todos estos cálculos y el estudio realizado para dar cobertura a las necesidades de energía fotovoltaica de cada caso del proyecto, se explican con detalle en el apartado 6.4 de este trabajo.

Además de estos dos escenarios (Caso 1 y Caso 2), se valoró la posibilidad de **generar un excedente de energía**, puesto que el centro cuenta con disponibilidad de espacio suficiente como para poder colocar un total de **186 paneles solares**. Sin embargo, dadas las condiciones contractuales del centro con su distribuidora actual de energía eléctrica, no parecía rentable para el centro invertir en mas paneles solares dado el beneficio que iba a obtener

En la figura 20, podemos observar la demanda energética del centro educativo por mes en el año 2019, y separadas por franjas horarias y en la tabla 3, figura la energía total en kWh del centro junto con el desglose de Importe total con IVA y el término de Energía de ambos casos durante el año 2019.

Como se puede observar, la demanda energética en horas llano (08:00h-18:00h) es la predominante a lo largo de todo el año, seguida de la demanda en horas punta (18:00h-22:00h) y por último de la demanda en horas valle (00:00h-08:00h).

Además, los meses de mayor demanda energética, abarcan desde septiembre hasta enero y coinciden con los meses de vuelta al colegio tras las vacaciones de verano (septiembre). Por otro lado, los meses entre noviembre y enero son los más fríos y donde más se usa la calefacción. Sin embargo, dentro de estos meses se excluye diciembre, puesto que a pesar de ser uno de los meses fríos del año, la demanda se ve afectada por las vacaciones de navidad, bajando drásticamente su consumo. Otro de los meses de menor demanda energética es agosto dado que el centro educativo permanece cerrado a los niños y por lo tanto, no necesita esa cantidad de energía continua.

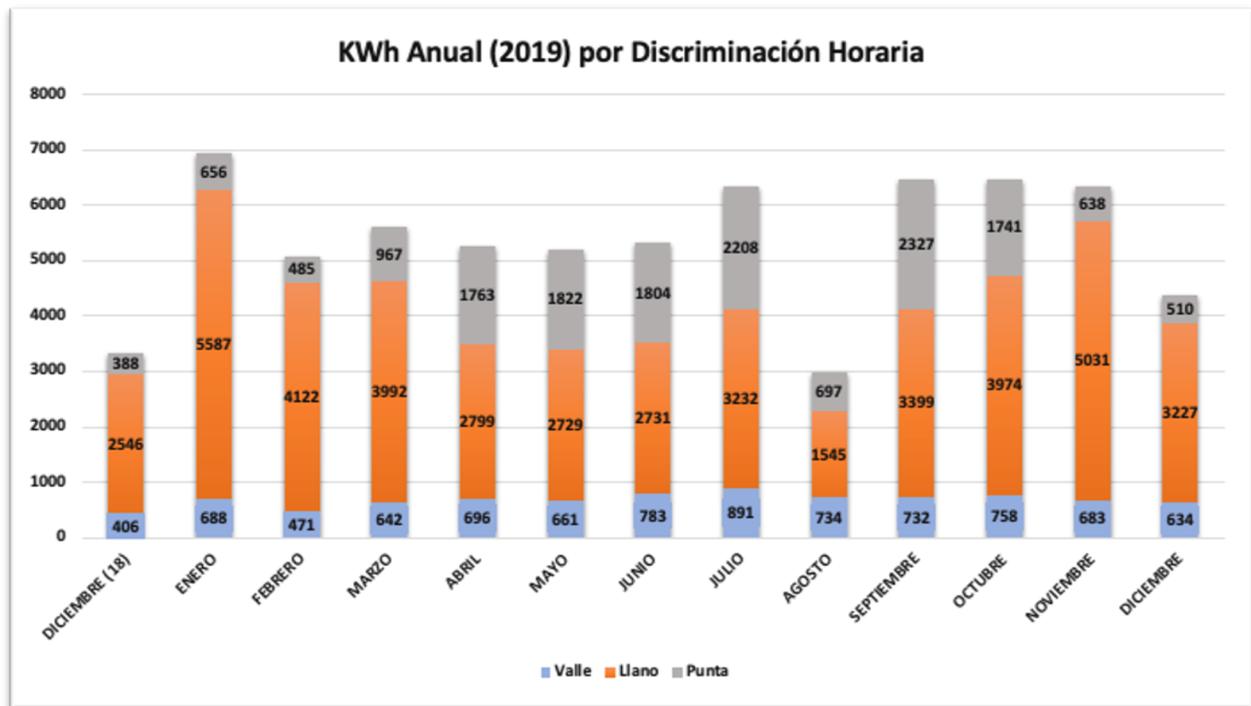


Figura 20: Demanda energética anual del centro educativo estudiado, por discriminación horarias. Fuente: Propia.

Tabla 3: Estudio de demanda de potencia y consumo económico del centro educativo estudiado en este TFG por mes, durante el año 2019. Fuente: Propia

Meses	Energía (KWh)	Importe con IVA(€)	Término de Energía (€)	
			Caso 1: 65,5%	Caso 2: 100%
ENERO	6.940,00	1.193,23	424,79	648,54
FEBRERO	5.078,00	876,39	311,83	476,08
MARZO	5.601,00	1.000,56	345,70	527,79
ABRIL	5.258,00	1.090,40	330,30	504,27
MAYO	5.212,00	1.056,09	328,47	501,48
JUNIO	5.318,00	1.040,00	471,36	719,64
JULIO	6.331,00	1.257,73	562,71	859,10
AGOSTO	2.986,00	679,98	254,53	388,60
SEPTIEMBRE	6.458,00	1.275,80	578,67	883,47
OCTUBRE	6.473,00	1.311,83	573,03	874,85
NOVIEMBRE	6.352,00	1.190,53	552,61	843,68
DICIEMBRE	4.371,00	877,21	377,02	575,60
<b>TOTAL</b>	<b>66378</b>	<b>12849,75</b>	<b>5111,0305</b>	<b>7803,1</b>

Tras valorar las ventajas y desventajas de las distintas posibilidades de actuación y de las diferentes franjas de consumo energético anual del centro, el proyecto se centrará en estudiar la viabilidad de la utilización de la energía fotovoltaica en dos supuestos o escenarios que, en adelante, designaremos como CASO 1 y CASO 2:



Estudio técnico y de viabilidad económica de dos opciones de instalación fotovoltaica de 33kW y 49,5kW, para cubrir las necesidades de consumo de un colegio de la población de Godella.



**Caso 1** → 100 paneles solares con el objetivo de alcanzar la demanda diurna.

**Caso 2** → 150 paneles solares con el objetivo de alcanzar la demanda total.

A partir de aquí, nuestro proyecto consistirá en diseñar y distribuir los paneles solares en el espacio útil disponible teniendo en cuenta todos los factores limitantes.



## 6 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

### 6.1 Características del centro educativo

Se realizó el estudio del centro educativo y se analizó el espacio disponible.

Nos encontramos con un centro relativamente pequeño y con poco terreno para la disposición de paneles solare, puesto que la mayor parte de las zonas descubiertas están reservadas para áreas de juegos, deporte y de recreo.

Debido a esto se decide que la mejor zona de ubicación de los paneles sería la cubierta del edificio principal. que cuenta con una superficie total de 765,71 m<sup>2</sup>. Sin embargo, la disposición de la cubierta no es cuadrada ni rectangular, si no que adopta una figura desigal, lo que podría dificultar la disposición de paneles solares (Figura 21).



Figura 21: Captura de pantalla de Google Maps de la cubierta del centro educativo estudiado en este TFG.

A pesar de esta complicación, la zona es idónea para colocar paneles solares por varias razones:

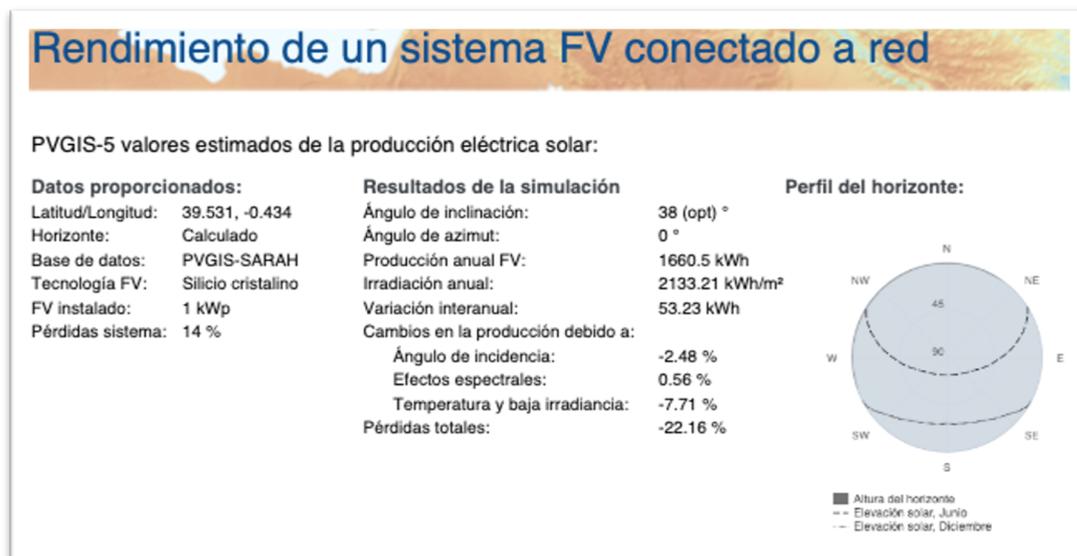
- La zona está cerca de los puntos de conexión a red (B.T o M.T), ya que siendo de autoconsumo, no tendrá casi pérdidas de transporte.
- Además, la cubierta no sufre ningún tipo de sombra que disminuya o afecte al rendimiento de la instalación debido a que está a una altura considerable y los árboles no son lo suficientemente altos, ni están lo suficientemente cerca, para hacer sombra.
- Por otro lado, el muro limitante de dicha cubierta mide 15cm de altura y no provoca sombra suficiente, con el movimiento del sol, como para limitar el espacio útil.

## 6.2 Cálculo de la Radiación solar en el Centro Educativo

Gracias a los datos proporcionados por la Comisión Europea obtuvimos información sobre el recurso solar en el área del centro educativo, utilizando la plataforma PVGIS ("Photovoltaic Geographical Information System"), (Figura 22 y 23).

PVGIS es un sitio web desarrollado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea hace más de diez años, donde se puede obtener una estimación muy cercana de la radiación solar en diferentes partes de Europa a partir de datos satelitales. Además, esta web cuenta con la colaboración de organizaciones como "Deutscher Wetterdienst", "National Renewable Energy Laboratory" y grandes grupos de investigación con el objetivo de mejorar las estimaciones y la validación de los valores de radiación.

Uno de los puntos críticos en el desarrollo de sistemas de energía solar es la estimación de la radiación en el área, por lo que gracias a PVGIS, pudimos conseguir los datos que facilitan enormemente el desarrollo de este tipo de proyectos.



Figuras 22: Captura de pantalla de los resultados del PVGIS obtenidos para nuestra localización estudiada Fuente: (PVGIS, 2020)

Energía FV y radiación solar mensual			
Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	121.6	147.0	17.3
Febrero	115.9	142.4	14.3
Marzo	145.7	182.8	11.9
Abril	148.2	189.6	11.6
Mayo	156.4	204.6	12.0
Junio	155.2	207.4	3.3
Julio	161.3	217.4	5.9
Agosto	159.1	212.6	6.9
Septiembre	141.4	186.5	8.5
Octubre	129.9	166.9	14.8
Noviembre	112.7	139.3	15.8
Diciembre	113.0	136.6	9.5

E\_m: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].  
H(i)\_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m<sup>2</sup>].  
SD\_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh]

Figura 23: Captura de pantalla de los resultados del PVGIS obtenidos para nuestra localización estudiada. Fuente: (PVGIS, 2020)

Los cálculos del PVGIS, nos facilitó el ángulo de inclinación óptimo de las placas fotovoltaicas ( $\beta=38^\circ$ ). A partir de este dato, se calculó la distancia requerida entre placas, y el número máximo de placas que se podrían colocar en el suelo útil. Todo esto queda explicado con detalle en el apartado 6.4.

### 6.3 Comparativa de módulos fotovoltaicos

Se analizó la situación actual y se estudiaron los 10 paneles solares mas eficientes que existen actualmente en el mercado fotovoltaico, (Tabla 4).

Tabla 4: Diez paneles solares mas eficientes en el mercado fotovoltaico. Fuente: (Lorenzo, 2019).

FABRICANTE	MODELO	EFICIENCIA DE PANEL	POTENCIA DEL PANEL	TAMAÑO (largo x ancho)
SunPower	SPR-X22-370 (Ahora <u>MAX3-400</u> )	22.6%	400W	1.690 x 1.046 mm
SunPower	SPR-X22-360 (Ahora <u>MAX3-390</u> )	22.1%	390W	1.690 x 1.046 mm
SunPower	<u>MAX3-370</u>	20.9%	370W	1.690 x 1.046 mm
<u>LG Neon R</u>	LG360Q1C-A5	20.8%	360W	1.700 x 1.016 mm
LG	LG355Q1C-A5	20.6%	355W	1.700 x 1.016 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.6%	335W	1.559 x 1.046 mm
SunPower	<u>MAX2-360</u>	20.4%	360W	1.690 x 1.046 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.3%	330W	1.559 x 1.046 mm
SunPower	<u>MAX3-350</u>	19.8%	327W	1.690 x 1.046 mm
SHARP	NQ-R256A	19.8%	256W	1.318 x 980 mm
Panasonic	<u>VBHN330SJ53</u>	19.7%	330W	1.590 x 1.053 mm
Panasonic	VBHN325SJ53	19.4%	325W	1.590 x 1.053 mm
SunPower	<u>SPR-P19-400</u>	19.4%	400W	2.067 x 998 mm

De los tres modelos de paneles solares elegidos por características similares (AUO, SunPower y Panasonic) se estudiaron en profundidad todos los parámetros técnicos de cada placa, (Tabla 5). Estos parámetros técnicos se corresponden con:

- $P_{MPP}$ : Potencia en el punto de máxima potencia.
- $V_{MPP}$ : Tensión en el punto de máxima potencia.
- $I_{MPP}$ : Corriente en el punto de máxima potencia.
- $V_{OC}$ : Tensión en circuito abierto.
- $I_{SC}$ : Corriente de cortocircuito

Tabla 5: Características de los tres paneles solares estudiados en detalle. Fuente: Propia.

	SunForte PM096800	Max3-350	VBHN330SJ53
Fabricante	AUO	SunPower	Panasonic
Máxima Potencia-Pmpp (W)	330	327	330
Voltaje de max. Potencia-Vmpp (V)	54,7	57,9	58
Intensidad de máx. Potencia-Impp (A)	6,04	6.05	5.70
Eficiencia (%)	20.3	19.8	19.7
Tamaño (Largo x ancho) (m)	1.559 x 1.046	1.690 x 1.046	1.590 x 1.053
Tension Circuito Abierto-Voc (V)	64,9	70,3V	69.7
Corriente Corto Circuito-Isc (A)	6,52	6.48	6.07
Peso (Kg)	18,6	19	18,5
Precio (Euros)	191.11	177.85	159.98

De todas las características fotovoltaicas obtenidas del catálogo de los fabricantes, las más importantes serían la potencia, el voltaje, la intensidad y la eficiencia del módulo en condiciones estándar de medida (CEM) .

La norma UNE 206008:2013 IN, define estas condiciones como:” Valores de referencia, utilizados en los ensayos de los paneles fotovoltaicos: Irradiancia sobre el plano de captación de 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura ambiente de 25°C y masa de aire (AM) DE 1,5”

En base a los datos de la tabla 5, se eligió opción utilizar en el proyecto los **paneles fotovoltaicos de Panasonic**.

A pesar de que el panel de Panasonic tiene menor eficiencia (19,7%), sólo dista un 0,6% del modelo de AUO que tiene un 20,3% de eficiencia. Sin embargo, con relación al precio existe una diferencia de 31,13€ menos por panel en el caso de las placas de panasonic

Teniendo en cuenta que número total de paneles estará en 100 paneles (caso 1) y 150 paneles (caso 2), existirá un aumento de precio de 3113€ y 4.669,5€ respectivamente para los paneles de modelo AUO. Ya que el cliente es un centro educativo y no una gran empresa, se ha considerado que la cantidad de inversión inicial es de gran importancia para el centro.

También se valoró la posibilidad de cubrir el 0.6% de la eficiencia perdida que nos proporcionaría el modelo AUO, al añadir tres paneles solares más del modelo Panasonic, antes que invertir directamente en paneles de AUO, aumentando 31,13€ más por cada panel fotovoltaico.

## 6.4 Cálculo Energía producida por Módulo Fotovoltáico

### 6.4.1 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

La energía anual aportada por un módulo fotovoltaico podemos obtenerla a través de la fórmula (1):

$$E_{\text{módulo}} = P_{\text{mpp}} * HSP * PR \quad (1)$$

Siendo:

- $E_{\text{módulo}}$ : energía producida por la placa fotovoltaica durante un año (Wh/año).
- $P_{\text{mpp}}$ : potencia pico de la placa fotovoltaica (W).
- $HSP$ : número de horas sol pico anuales (h/año).
- $PR$ : "Performance Ratio", coeficiente de rendimiento de la instalación, es decir, tiene en cuenta las pérdidas debido a la variación de temperatura y radiación respecto a los valores estándar tomados, pérdidas por suciedad y otros elementos como cableado, concentradores e inversores. Este valor se toma de la base de datos de PVGIS y corresponde con el 75%.

El número de módulos necesarios para cubrir la demanda total y la demanda mínima se consiguió a través de la fórmula (2):

$$N_{\text{módulos}} = \frac{E_{\text{anual}}}{E_{\text{modulo}}} \quad (2)$$

Siendo:

- $N_{\text{módulos}}$ : número de placas fotovoltaicas necesarias.
- $E_{\text{anual}}$ : energía que se pretende producir a lo largo del año (Wh/año).
- $E_{\text{módulo}}$ : energía producida por la placa fotovoltaica durante un año (Wh/año).

Así pues, el resultado de los cálculos del número de módulos necesarios, quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Caso 1} \rightarrow N_{\text{módulos}} = 42.368 \div 452,93 = 94 \approx 100 \text{ paneles solares}$$

$$\text{Caso 2} \rightarrow N_{\text{módulos}} = 66.378 \div 452,93 = 147 \approx 150 \text{ paneles solares}$$

Se redondea el número de placas solares al alza, ya que se asume que la energía generada por la instalación puede tener pérdidas.

### 6.4.2 Inclinación Módulos

La producción solar se maximiza con alta radiación solar y bajas temperaturas, de modo que como en verano los rayos del sol golpean más ortogonalmente, se obtiene una mayor producción de energía con inclinaciones más bajas de los paneles. Por otro lado, en invierno los rayos son más tangenciales a la superficie, lo que requiere una mayor inclinación del panel solar para conseguir mayor producción de energía. La figura 24, representa la explicación anterior.

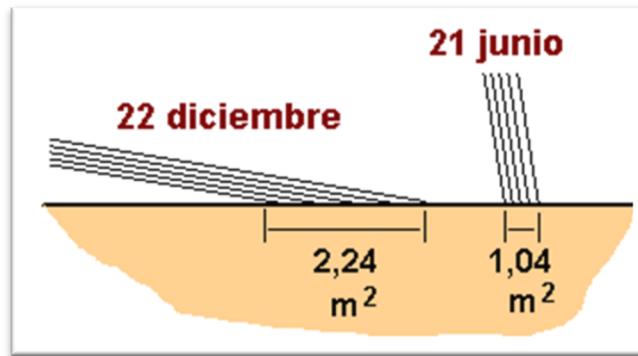


Figura 24: Inclinación de los rayos solares en verano e invierno. Fuente: (Instituto de Tecnologías Educativas, 2017)

Basándonos en la norma UNE 206008:2013 IN para el ángulo de inclinación de los paneles: "Ángulo entre el plano horizontal y el plano de la superficie del módulo" y a través de los datos del PVGIS, la inclinación óptima para maximizar la producción de energía solar, se da para un ángulo de 38°.

### 6.5 Separación entre módulos

Para obtener la separación necesaria entre módulos y evitar las pérdidas por sombreado entre placas se realizan cálculos trigonométricos, con una inclinación de 40° ( $\beta$ ), una altura ( $a$ ) que depende de la placa y un ángulo de incidencia solar de 25° ( $\alpha$ ).

Así pues, la distancia entre módulos se calcula despejando mediante la fórmula (3):

$$d = a * \cos(\beta) + \frac{h}{\text{tg}(\alpha)} \quad (3)$$

La distancia de separación de cada una de las placas de los tres modelos elegidos para el estudio viene reflejada en la tabla 6.

Tabla 6: Distancia de separación "d" de los tres modelos de placa solar. Fuente: Propia.

Fabricante	AUO	SunPower	Panasonic
h (altura proyectada) (metros)	1,10	1,20	1,10
L (length) (metros) = a	1,56	1,69	1,59
d (separación entre placas) (metros)	3,58	3,87	3,58
Rf longitud horizontal de la placa (metros)	1.11	1.20	1.11

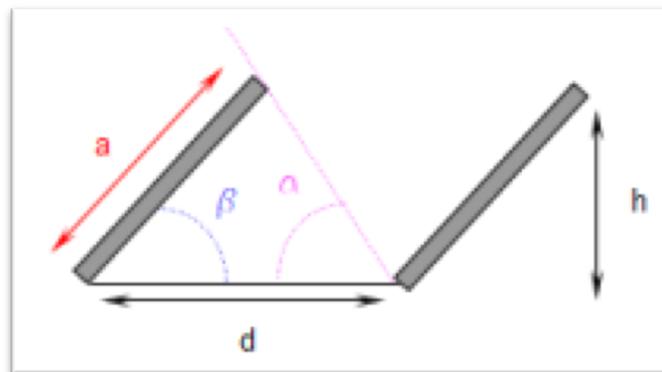


Figura 25: Esquema de separación entre placas.

La **distancia entre filas de placas debe ser de  $d=3,58$  m**, (Figura 25).

Así mismo, la separación entre placas en serie será de 1 centímetro como máximo, para evitar colisiones entre placas, pero podrían ir seguidas perfectamente.

## 7 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

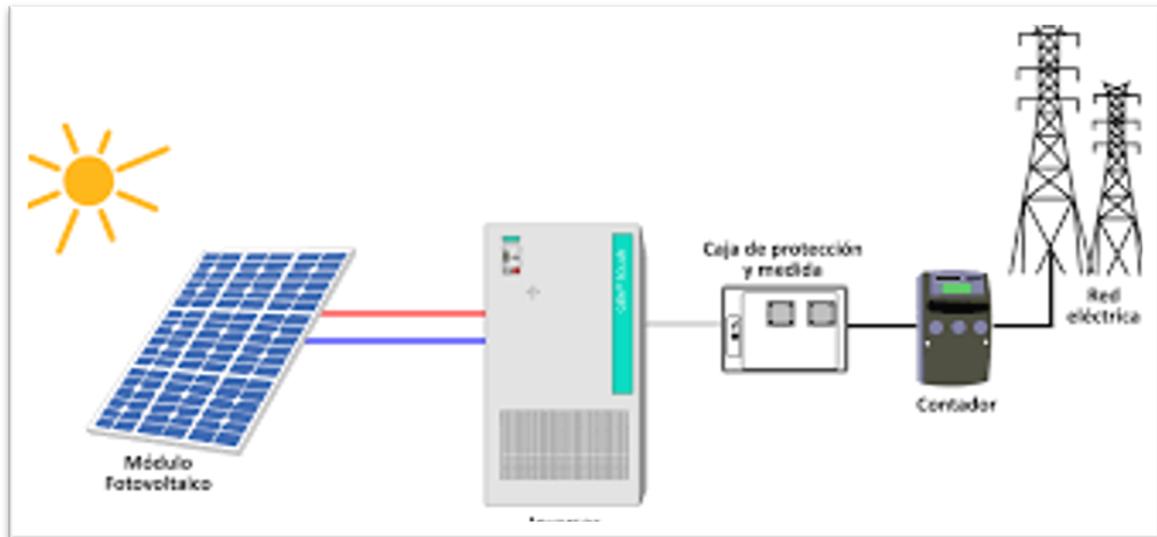


Figura 26: Esquema de un parque solar. Fuente: Google imágenes.

Una instalación fotovoltaica o parque solar está formado por, (Figura 26):

- **Módulos fotovoltaicos:** transforman la radiación solar en energía eléctrica.  
- **"String"** es un conjunto de paneles fotovoltaicos conectados en serie. CC  
- **Concentradores de "Strings" o cajas de conexión:** tienen la función de unificar las distintas líneas procedentes de las placas fotovoltaicas, que se dirigen hacia los inversores, en una sola línea. De esta forma se reduce el número de líneas existentes en la instalación, ahorrando metros de cableado. CC
- **Inversores:** encargados de transformar la energía eléctrica continua creada por los módulos en energía eléctrica alterna para poder abastecer los puntos de consumo. CC-CA
- **Cableado en CC y AC:** su único objetivo es transportar la corriente eléctrica generada desde los módulos hasta el punto de conexión a REE. Son cables de baja tensión monofásicos para el tramo situado entre las placas y el inversor, y trifásicos entre los inversores y conexión a RED.

### 7.1 Inversores

Son aparatos electrónicos que convierten la energía continua producida por las placas fotovoltaicas en energía alterna a consumir.

Según la norma UNE 206008:2013 IN se definen como: " Tipo de convertidor que convierte corriente continua en corriente alterna".

Puesto que se va a distribuir las distintas placas solares en *strings* en serie y además estos *strings* en paralelo con otras *strings*, necesitaremos usar cajas de conexión previas

al inversor, distintas para cada distribución. Para ello hemos elegido cajas de conexiones de la marca AMB Green Power.

En la tabla 7 se muestran las cajas de conexiones escogidas para cada caso:

Tabla 7: Distribución de cajas de conexiones. Fuente: Propia.

	CASO 1	CASO 2
Compensación	Compensación Valle	Compensación demanda total
Número placas	100 placas	150 placas
Cuadro	2x STC 5	3x STC5
Precio (€)	626	929
División	10 columnas de 10 en serie	15 columnas de 10 en serie

La distribución de las cajas de conexiones para todos los dos casos se realiza con la misma caja de conexión de 5 *strings* STC5 de 100 A. Cada concentrador tiene un **precio unitario** que asciende a **313€**.

#### *Características del Cuadro 5 Strings - STC 5 100A*

- Sin monitorización.
- Hasta 5 entradas.
- Fusibles de 16A de protección en positivo y negativo.
- Salida con Seccionador hasta 1000 Vdc y 100A.
- Sin contacto auxiliar de estado.
- Dimensiones 380x570x225.
- Protección IP55.
- Entradas y Salidas con prensaestopas.
- Con protector sobretensiones de continua clase 2 hasta 1000Vdc, sin contacto auxiliar.

(AMB Green Power, 2020)

De la misma forma, para ambos casos se ha elegido el mismo **inversor** puesto que tanto la distribución del caso 1 como la del caso 2, llegan a cajas de conexiones donde la distribución de los paneles siempre es de 5x10, 5 *strings*. En cada conexión hay 10 paneles solares en serie, por eso el inversor es el mismo para ambos casos.

Los datos necesarios para la elección del **inversor** vienen condicionados por la distribución en serie y paralelo de los paneles.

Por cada panel fotovoltaico circula **una intensidad** de  $I_{oc}=5,70$  A, y puesto que están puestas en serie, la corriente se mantiene constante. Sin embargo, al estar

seguidamente conectadas en paralelo con 5 strings, la corriente que llega a la caja de conexiones ( $I_c$ ) será 5 veces  $I_{oc}$ .

$$I_c = I_{oc} \times 5 \text{ strings} = 28,5A \quad (4)$$

En el caso de **la tensión**, al estar los paneles dispuestas en serie dentro de cada string, esta se suma, quedando la tensión en la caja de conexiones ( $V_c$ ) de la siguiente manera:

$$V_c = V_{oc} \times 10 \text{ paneles} = 580V \quad (5)$$

Respecto a la **máxima corriente de cortocircuito** ( $I_{sc,máx}$ ) se obtiene que:

$$I_{sc,máx} = I_{sc} \times 5 \text{ strings} = 6,07 \times 5 = 30,35 A \quad (6)$$

Con estos resultados, ya podremos calcular la **potencia máxima de corriente** continua, necesaria para la elección del inversor:

$$Pot_{max} = I_{sc,máx} \times V_c = 30,35 \times 580 = 17.603W \quad (7)$$

Así pues, el inversor elegido que cumplía con todos los requisitos anteriormente comentados tras los cálculos realizados fue el **"Fronius Eco 27kW.0-3-S"**.

En la tabla 8 se puede ver la ficha técnica del inversor Fronius Eco 27kW.0-3-S". y sus características técnicas. Como se puede observar, la tensión ( $V_c=580V$ ) está dentro del rango del inversor que oscila de 580-1.000V. Además, cumple la necesidad de potencia máxima en continua con 27kW.

Se tuvo en especial consideración, el hecho de que el inversor tuviera más de una entrada, para poder conectarlo con varias cajas de conexión (hasta tres entradas distintas para el caso 2). Tras comparar con varios inversores, el modelo elegido finalmente nos permite conectar hasta 6 entradas de manera simultanea.

El **precio por unidad del inversor** escogido asciende a un total de **3.358,29€**.

Tabla 8: Ficha técnica del inversor Fronius Eco 27.0-3-S. Fuente: (Fronius, 2020)

DATOS DE ENTRADA	
Número de seguidores MPP	1,0
Máxima corriente de entrada ( $I_{dc\ max}$ )	47,7 A
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV	71,6 A
Rango de tensión de entrada CC ( $U_{cc\ min.} - U_{cc\ max.}$ )	580 - 1000 V
Tensión CC mínima de puesta en marcha ( $U_{dc\ arranque}$ )	650,0 V
Tensión de entrada nominal ( $U_{dc,r}$ )	580,0 V
Rango de tensión MPP ( $U_{mpp\ min.} - U_{mpp\ max.}$ )	580 - 850 V
Rango de tensión de punto de rendimiento máximo utilizable	580 - 850 V
Número de entradas CC	6,0
Máxima salida del generador FV ( $P_{cc\ max.}$ )	37,8 kWpeak

#### 7.1.1 Caso 1: Compensación mínimo horas Llano-100 placas con distribución 2x(5x10)

En este caso, nuestro objetivo es buscar la compensación de demanda en horas Llano (08:00h-18:00h).

Con la siguiente distribución, podemos repartir las 100 placas solares en 2 cajas de conexión de 5 columnas en paralelo, con 10 placas solares en serie por cada columna. De esta forma aseguramos que no caiga el circuito entero en el supuesto de que se produzca algún tipo de avería en alguno de los *strings*.

El resultado de este planteamiento se puede apreciar la figura 27.

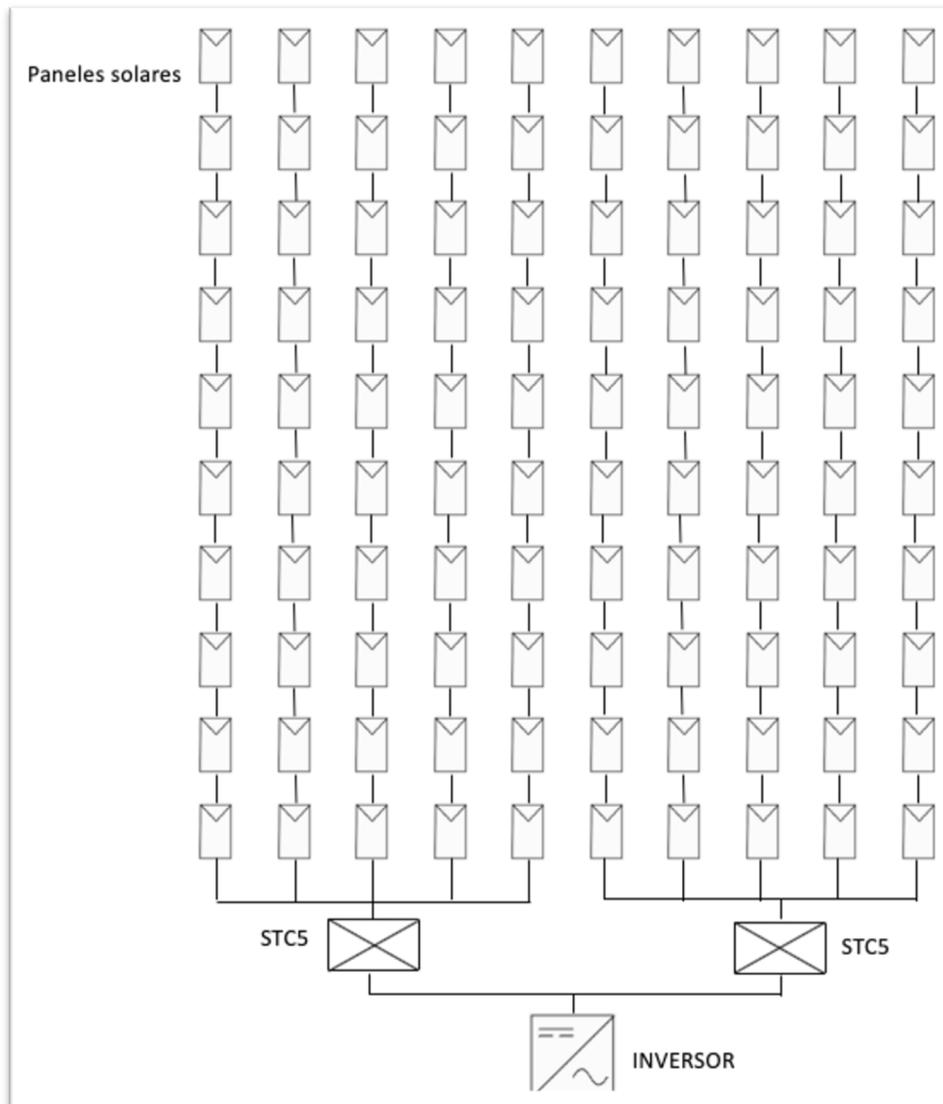


Figura 27: Distribución caso 1, 100 placas solares distribuidas 2x(5x10). Fuente: Propia.

A continuación, se va a mostrar el diagrama unifilar de la distribución diseñada en la figura 28.

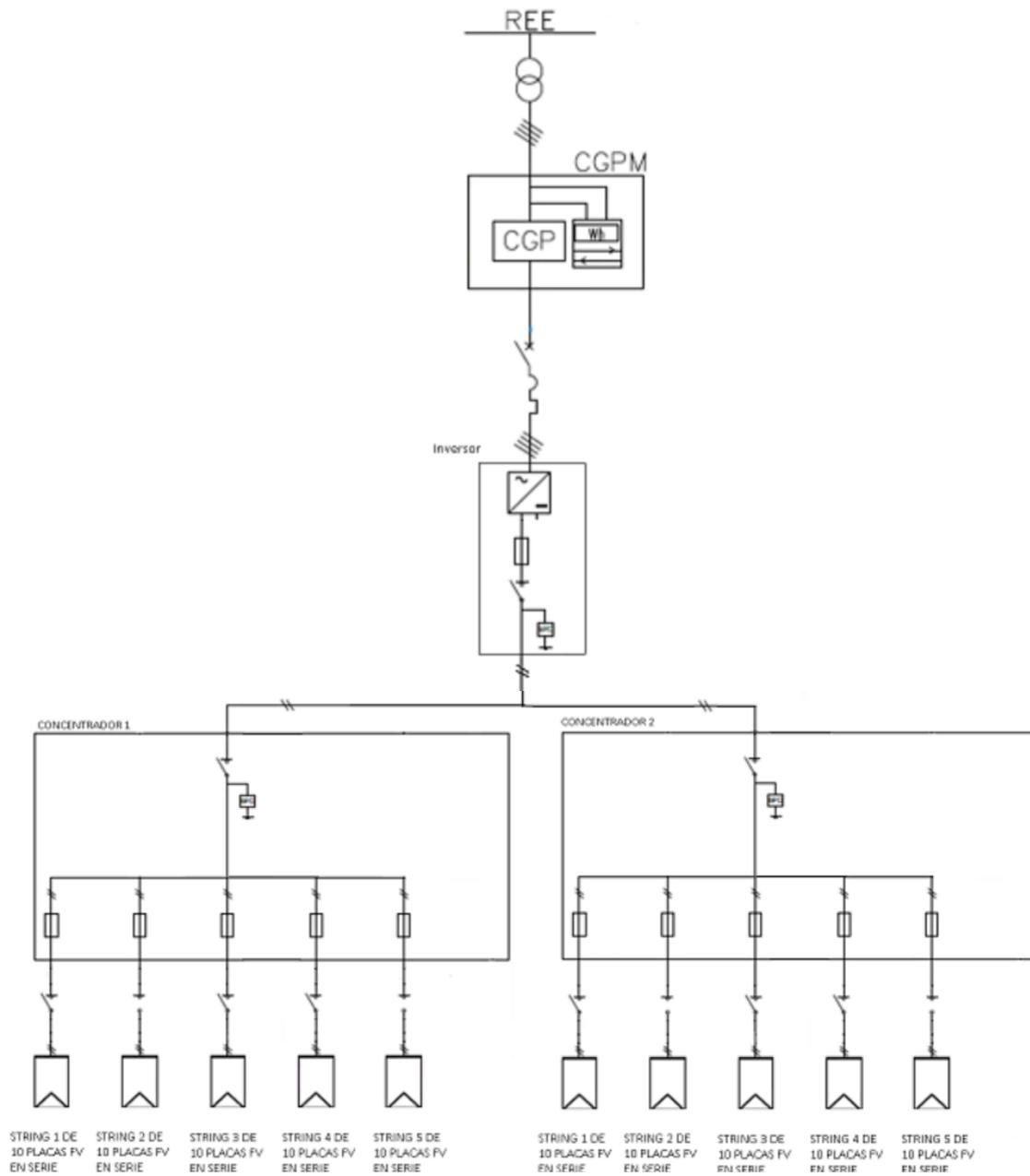


Figura 28: Diagrama unifilar del caso 1. Fuente: Propia.

### 7.1.2 Caso 2: Compensación demanda total - 150 placas con distribución 3x(5x10)

En este caso, se busca llegar a compensar la totalidad de la demanda energética del centro educativo.

Al igual que en el caso 1, se utiliza únicamente un tipo de caja de conexión (STC 5) pero se utilizan 3 cajas en vez de 2, asegurando la generación de parte de la energía en caso de que algún *string* falle.

La distribución, en este caso, quedaría de la siguiente manera (Figura 29).

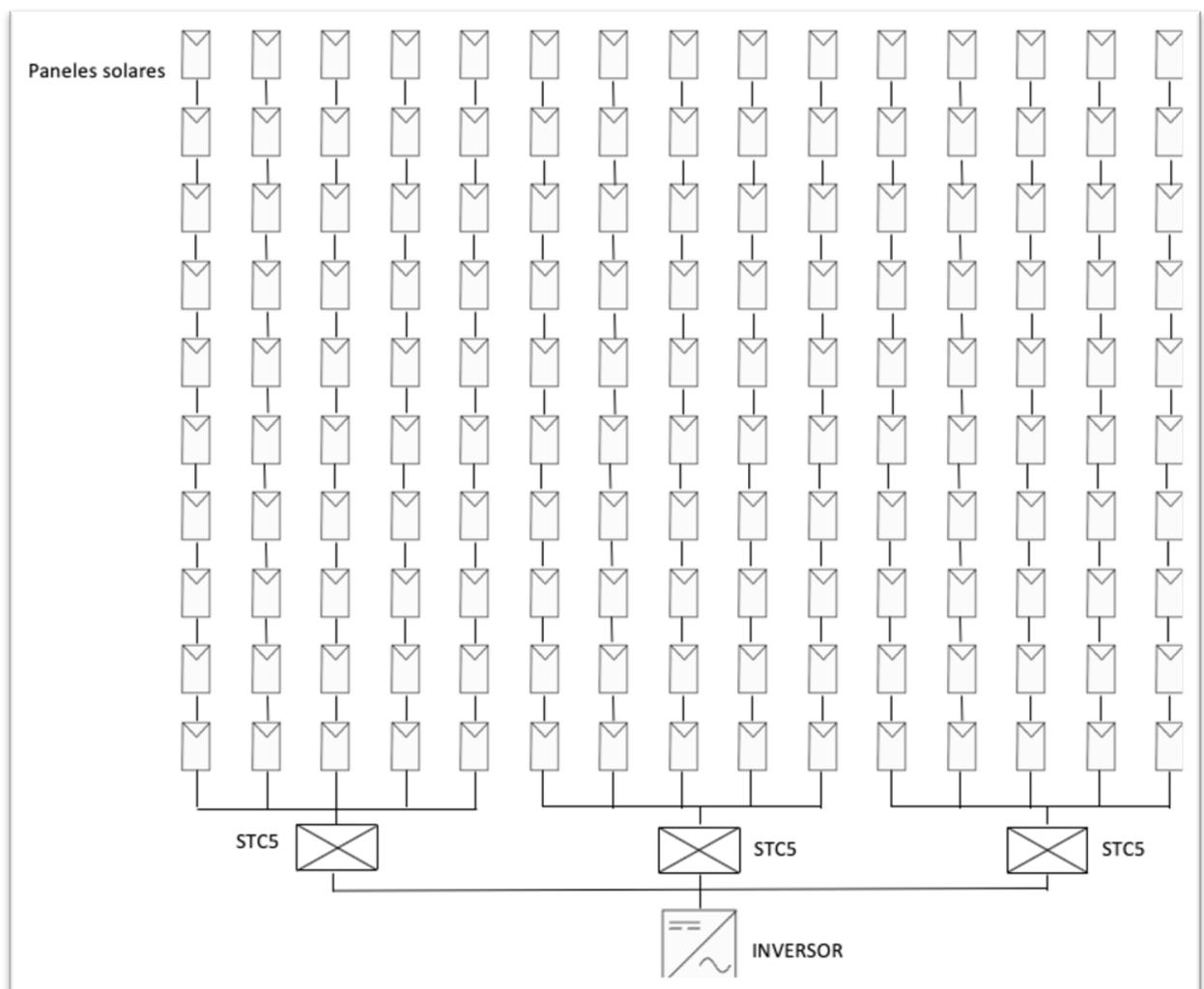


Figura 29: Distribución caso 2, 150 placas solares distribuidas 3x(5x10). Fuente: Propia.

Igual que para el caso 1, se va a mostrar el diagrama unifilar del caso 2, (Figura 30).

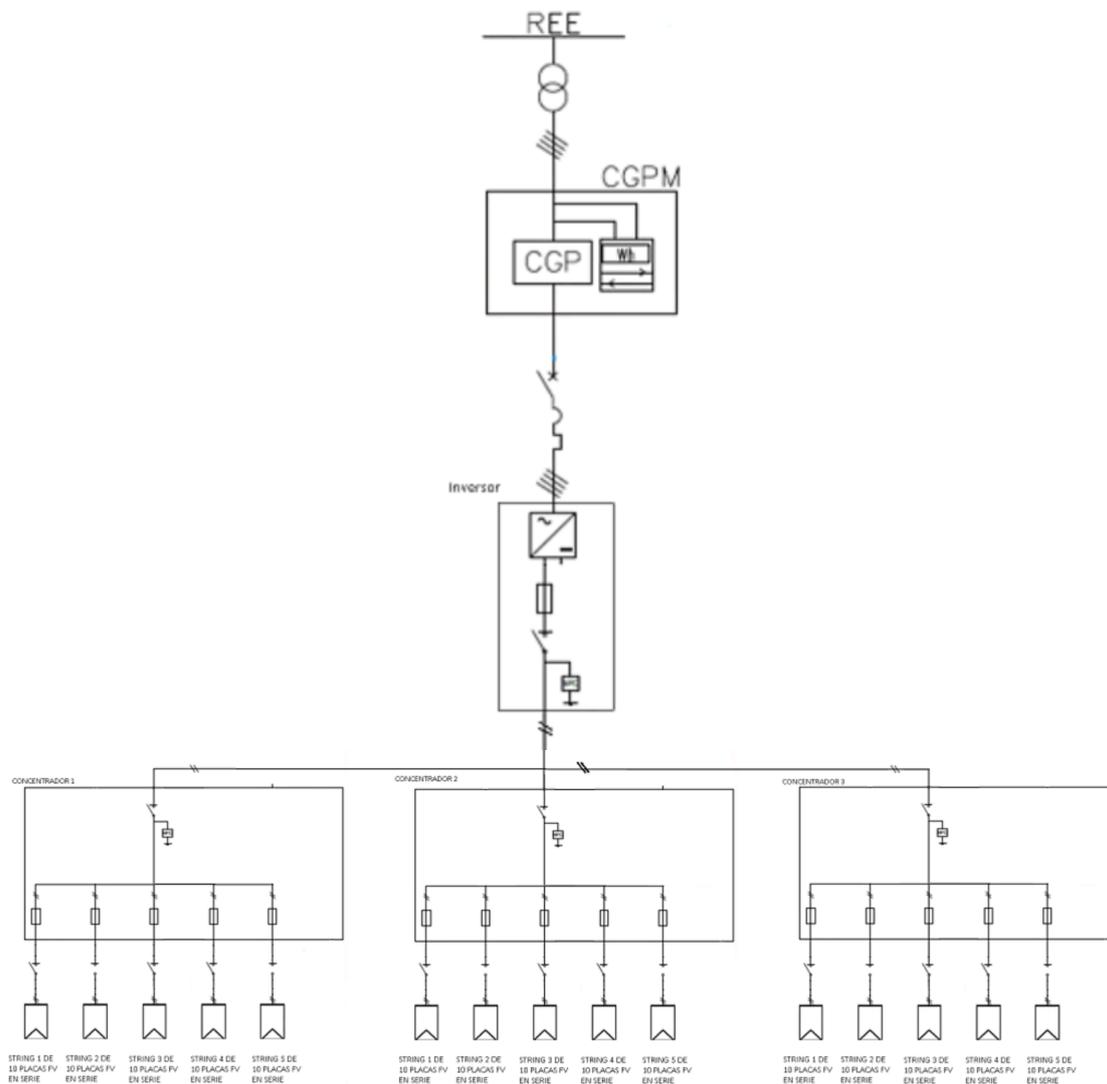


Figura 30: Diagrama unifilar del caso 2. Fuente Propia.

## 7.2 Representación de la distribución fotovoltaica

A continuación, se elaboraron los planos en AutoCad®, de tal forma que quedó clara la distribución de las placas solares, manteniendo la distancia entre ellas y entre los muros.

### 7.2.1 Caso 1: Distribución para compensación horas llano

En la figura 31, observamos la vista en planta del centro educativo estudiado.

En gris, se delimita la silueta de la cubierta en cuestión y en negro, se observa la misma silueta, pero respetando 20cm de espacio de seguridad entre muro y placa solar. Este espacio permitirá el tránsito de personal autorizado para cuestiones de limpieza y mantenimiento.

Además, se ha intentado mantener una simetría entre los dos grupos de paneles fotovoltaicos y su caja de conexión, facilitando y disminuyendo la distancia entre la caja y el inversor (rectángulo verde) en la zona central.

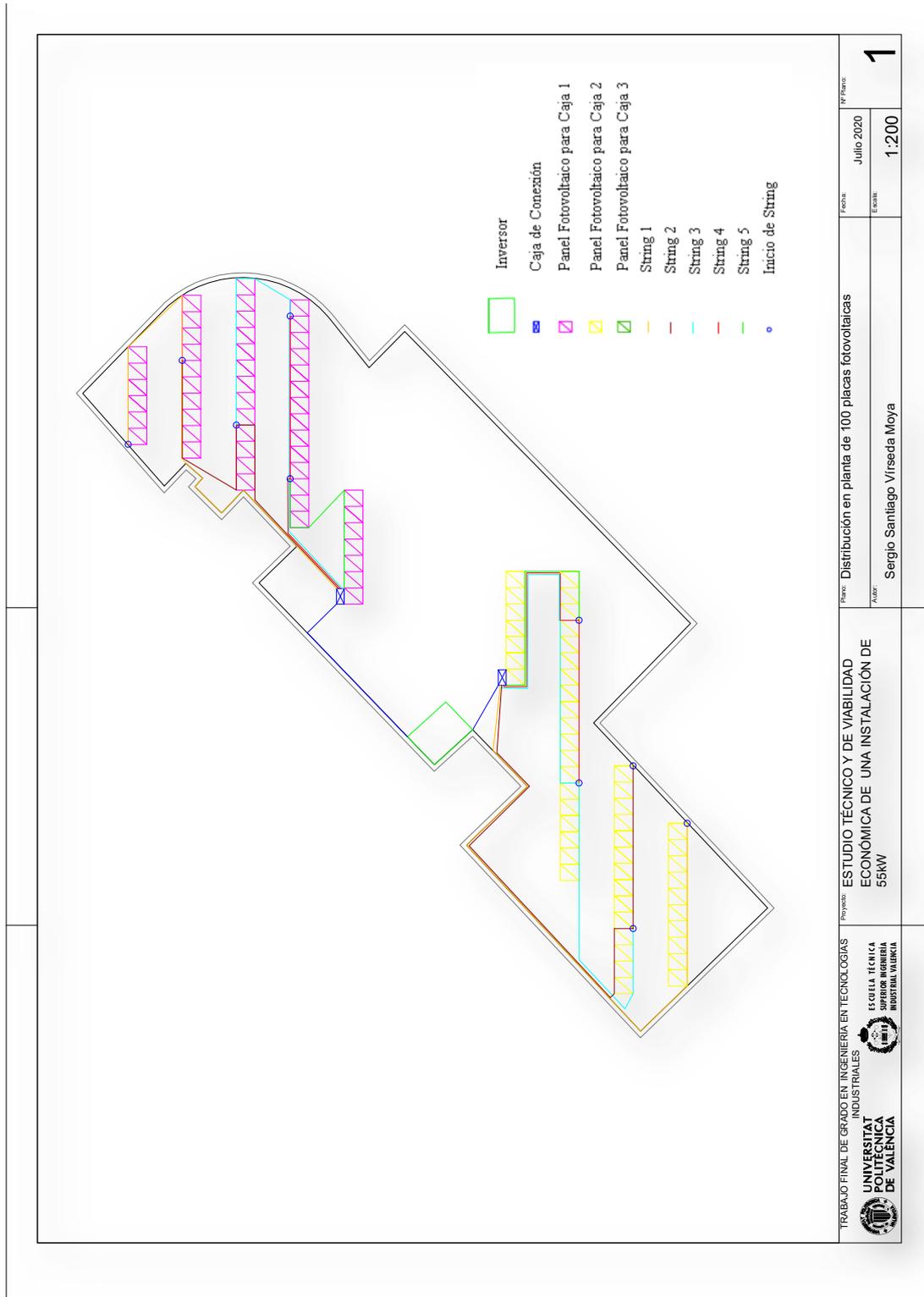


Figura 31: Distribución caso 1 en AutoCad®, 100 placas solares distribuidas 2x(5x10) y la distribución de cableado. Fuente: Propia.

### 7.2.2 Caso 2: Distribución para compensación de la demanda total

En el caso 2, tenemos 3 cajas de conexiones distintas con 3 grupos de 5x10 paneles solares, representados con distintos colores. Igual que en el caso anterior, cada grupo de paneles lleva su caja de conexión y de aquí al inversor en la zona central, (Figura 32).

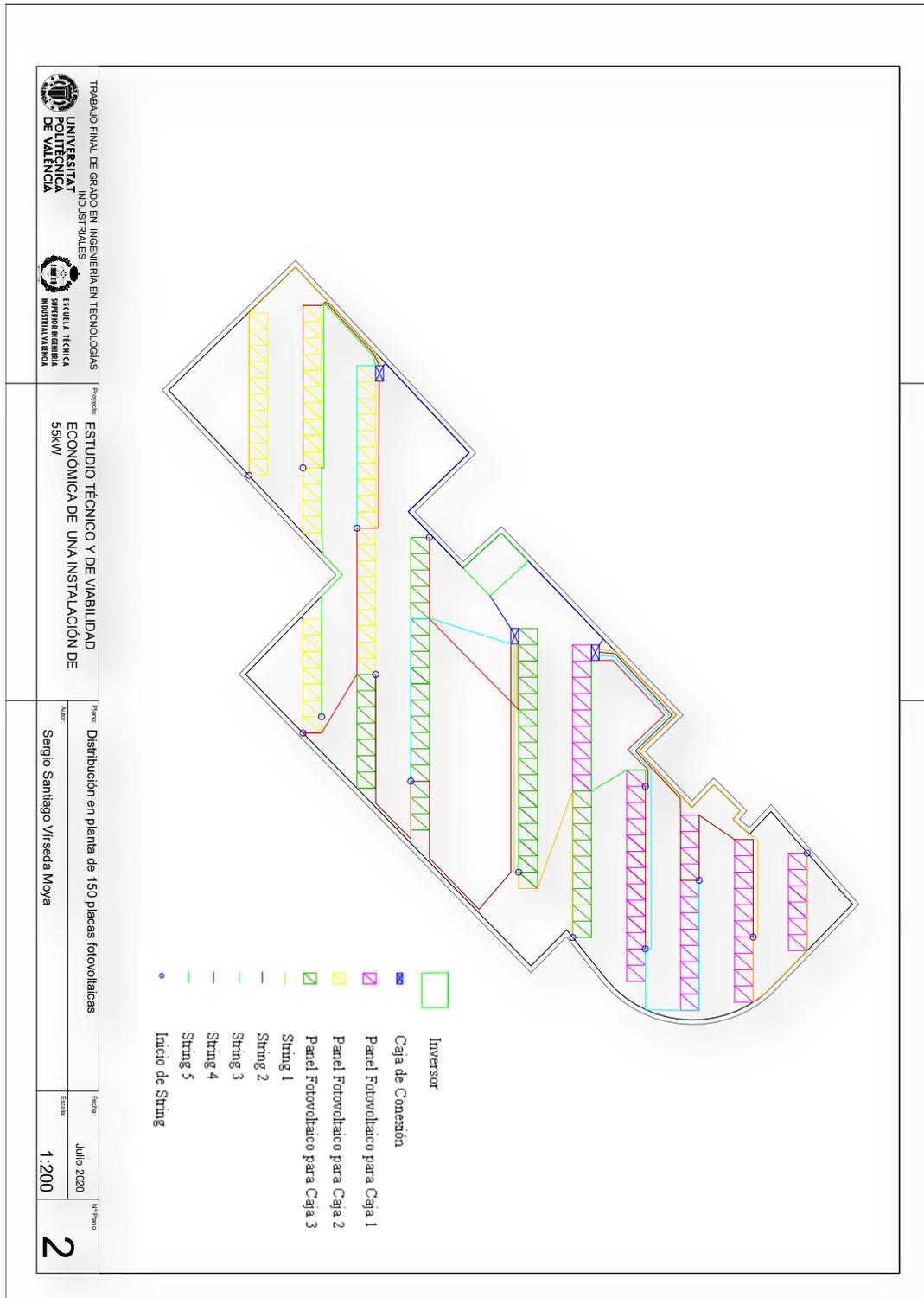


Figura 32: Distribución caso 2 en AutoCad®, 150 placas solares distribuidas 3x(5x10). Fuente: Propia.

### 7.3 Cálculos eléctricos de la instalación

Tras el diseño de la distribución y cableado de las placas, se procede al cálculo de las secciones necesarias del cableado para los tramos de cable que van desde los paneles a las cajas de conexión, de estas al inversor y finalmente del inversor a red.

#### 7.3.1 Caída de tensión en las líneas eléctricas

El inversor, se ha intentado conectar en el punto mas cercano al punto de conexión a red, para de esta forma, evitar una excesiva caída de tensión.

Es importante señalar que los inversores son trifásicos, por lo que el punto de conexión a red es también trifásico. Sin embargo, la parte anterior al inversor es de corriente monofásica.

Para calcular la caída de tensión porcentual en líneas monofásicas podemos usar la siguiente fórmula.

$$\varepsilon = \frac{L * P * \rho}{S * U^2} * 200 \quad (8)$$

Siendo

$\varepsilon$ : caída de tensión porcentual (%).

$L$ : longitud del cableado (L).

$\rho$  resistividad del material del cable ( $\Omega * \text{mm}^2/\text{m}$ ).

$P$ : potencia a la que se somete el cable (W).

$S$ : sección del cable ( $\text{mm}^2$ ).

$U$ : tensión nominal del cable (V).

La expresión correspondiente para líneas trifásicas se asemeja mucho a la anterior.

$$\varepsilon = \frac{L * P * \rho}{S * U^2} * 100 \quad (9)$$

Como se puede observar la caída porcentual en la línea monofásica será el doble que en la trifásica, manteniéndose el resto de los parámetros constantes.

Situaremos las cajas de conexiones bajo las placas fotovoltaicas, lo más cerca posible de las líneas de cableado para evitar la pérdida por la resistencia del cable. Los inversores estarán al aire libre, debido a su tamaño más abultado y por este motivo, para protegerlos, se situarán dentro de hornacinas.

Por último, en la salida del inversor, disponemos de una tensión alterna de 400V, que es perfecta para conectar a REE (Red Eléctrica) sin necesidad de ningún CT (Centro de Transformación) para adaptar la tensión.



## 7.4 Cálculo de las dimensiones del cableado

Para realizar el cálculo de las dimensiones del cableado se tuvo en cuenta las características técnicas para la selección del cableado y la sección de estos cables.

### 7.4.1 Características técnicas para la selección del cableado

Además de los cálculos anteriormente realizados, tendremos que seguir el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión para seleccionar los siguientes parámetros.

#### 7.4.1.1 *Material conductor*

Se valoró entre cableado de cobre o de aluminio, siendo estos dos tipos de material los más utilizados en el sector.

El cobre, respecto del aluminio, tiene una mejor capacidad de transporte y por ello necesita menor sección en comparación con el aluminio, ahorrando en material. Esto es debido a que la resistividad del cobre es menor, exactamente 1,64 veces menor que la del aluminio. Por lo tanto, para una misma caída de tensión, la sección del aluminio debería ser 1,64 veces la del cobre.

Respecto al criterio térmico, hay que tener en cuenta que, para una misma sección del cable, el cobre aguanta mayor intensidad de calor

Por lo explicado anteriormente, a pesar de que el precio del cobre (5,34 €) es superior al del aluminio (1,61 €), se eligió el cobre para el cableado.

#### 7.4.1.2 *Material aislante*

Tras consultar los libros de la asignatura de Tecnología Eléctrica y las tablas de intensidades admisibles de la norma UNE 20460 5.523:2004, encontramos la intensidad admisible de cada sección dado el tipo de cable, ya sea trifásico o monofásico, y su respectivo aislamiento, XLPE o PVC. Así pues, se eligió el aislamiento del cobre a partir de polietileno reticulado (XLPE), ya que soporta una intensidad superior al aislamiento de PVC para una misma sección.

Respecto al material de cubierta, se va a utilizar cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, en lugar de utilizar PVC. A pesar de que la cubierta elegida es más cara que el PVC, se utiliza la poliolefina porque en el caso de que se quemara un cable, el PVC emite humos tóxicos. Al tratarse de un centro educativo y a pesar de que los cables estén al aire libre, se prefirió una instalación segura utilizando compuesto termoplástico a base de poliolefina.



#### 7.4.1.3 Tensión asignada

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) ITC-BT-20 y dado que la instalación está a la intemperie, la tensión asignada podría ser de 750V si cumpliera con

todas las condiciones, sin embargo, se ha escogido una tensión de 1KV para asegurar el cumplimiento del Reglamento de B.T. Esto justificaría que se escogiera el XLPE, ya que es el único que soporta un valor de tensión de 1 KV.

#### 7.4.1.4 Tipo de cable

Se utilizará cables multipolares para corriente continua y cables unipolares para la parte alterna. Esto es debido a que, para bajas secciones, suelen emplearse cables unipolares y para secciones mayores, multipolares.

Por ello, los cables de los *strings*, que conectan las distintas placas solares con la caja de conexión, serán multipolar de dos conductores (Fase-Neutro). Los cables que unen la caja de conexión con el inversor, serán multipolares de tres conductores (Fase-Neutro-Protección) y por último, el cable que va del inversor a REE, será unipolar trifásico de cinco fases (Tres Fases-Neutro-Protección).

Respecto a la protección de dicho cable, el Reglamento de Baja Tensión, instrucción 20, admite cables unipolares fijado al aire libre siempre que tengan aislamiento y cubierta. Sin embargo, para mayor protección, según la instrucción 21 del Reglamento de BT, se necesitaría tubos con diámetro 16mm para tubos de  $2 \times 1,5 \text{mm}^2$  y  $2 \times 2,5 \text{mm}^2$  y un diámetro de 25mm para tubos de  $2 \times 10 \text{mm}^2$  y  $2 \times 25 \text{mm}^2$ .

#### 7.4.1.5 Puesta a tierra

A pesar de que el diseño de la instalación de puesta a tierra (p.a.t) va más allá del alcance de este proyecto, se ha querido remarcar que la p.a.t llegará al inversor y seguidamente a cada caja de conexión y para finalizar, se conectará a cada estructura horizontal de paneles solares.

Es decir, que más allá de la caja de conexión, la p.a.t no irá por los cables *strings*, si no que irá directamente a la estructura de paneles fotovoltaicos, asegurando así la instalación completa

#### 7.4.2 Criterio de cálculo de sección del cableado

Por último, según el criterio térmico y el criterio de caída de tensión, obtendremos la sección del cable en los tramos correspondientes.

#### 7.4.2.1 Criterio térmico

Recurrimos a las tablas de la norma REBT ITC-BT.19. y a las tablas UNE 20460 parte 5 (UNE 20460, 2020) para el cálculo de los criterios térmicos. Al buscar estas tablas en AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), se habían derogado por las tablas UNE 60363 (UNE 60363, 2020). Sin embargo, dado que los valores numéricos de las tablas son prácticamente los mismos, se utilizaron las tablas de la norma UNE 20460 que es la que cita el reglamento.

Se usaron las tablas A.52-1 para cable con temperatura ambiente de 30°C, para conocer las intensidades admisibles por cada sección.

- Tabla 52-B1 → utilizaremos el método E en caso de cable multiconductor al aire libre o el método F en caso de cable unipolar al aire libre.
- Tabla 52-D1 y tabla 52-E1 → poniéndonos en un caso muy desfavorable con una temperatura ambiente de 45 °C, asegurando el caso más desfavorable con altas temperaturas en verano y con aislamiento escogido anteriormente XLPE obtenemos factor de protección:
  - De la tabla 52-D1 obtenemos el factor de corrección →  $K_T=0,87$
  - De la tabla 52-E1, poniéndonos en el tramo mas desfavorable donde vemos hasta 5 cables multipolares agrupados, tendremos un coeficiente de agrupamiento distinto de la unidad →  $K_A=0,6$

Por lo tanto:

$$K = K_T \times K_A = 0,522 \quad (10)$$

Para finalizar se obtuvo la intensidad de diseño. Para ello nos pusimos en el caso más desfavorable, evitando así problemas de sobrecalentamientos, Elegimos usar la intensidad de cortocircuito en vez de la intensidad nominal para el cálculo. Se consideró que nuestra instalación, junto con el inversor, actuaría como generador, por lo tanto, según el reglamento para generadores:

- Intensidad de diseño para cada *string* →  $I_{dstring}$   
$$I_{dstring} = I_{sc} \times 1,25 = 6,07 \times 1,25 = 7,6A \quad (11)$$
- Intensidad de diseño para salida de caja de conexión →  
$$I_{dcaja} = I_{sc_{max}} \times 1,25 = 30,35 \times 1,25 = 38A \quad (12)$$

#### 7.4.2.2 Criterio de caída de tensión

Haremos uso de las formulas explicadas anteriormente para monofásico y trifásico:

$$\varepsilon = \frac{L \cdot P \cdot \rho}{S \cdot U^2} * 200 \quad (8) \quad \text{y} \quad \varepsilon = \frac{L \cdot P \cdot \rho}{S \cdot U^2} * 100 \quad (9)$$

Escogemos una resistividad del cobre, para una temperatura de 60°C, de 0,01995  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , diseñando la instalación segura.

Se considera que se establece que la caída de tensión total entre placas y el punto de conexión, no debe superar el 3%, limitando la caída máxima de tensión. Además, según el reglamento de baja tensión, el conjunto de placas e inversor (que formaría nuestro generador) no puede superar una caída de tensión mayor de 1,5%. Por lo tanto, se ha distribuido la caída de tensión de la siguiente forma:

- $\varepsilon < 0,8 \%$  entre los módulos y las cajas de conexión.
- $\varepsilon < 0,2 \%$  entre caja de conexión e inversor.
- $\varepsilon < 1,5 \%$  entre el inversor y el punto de conexión a REE.

Nótese, que la suma de la caída de tensión del tramo de módulos a caja de conexión y de caja de conexión al inversor no supera en ningún momento la caída de tensión anteriormente nombrada de 1,5%.

En algún caso en el que no hubiera paso intermedio entre módulo e inversor, la caída de tensión se limita al 2,5% (por razones de seguridad, por la menor cantidad de componentes, longitud e intensidad de cada tramo) de la siguiente forma:

- $\varepsilon < 1 \%$  entre los módulos e inversor.
- $\varepsilon < 1,5 \%$  entre el inversor y el punto de conexión a REE.

Las longitudes las obtendremos a través de los planos del centro educativo, estudiando la distribución más eficiente, para requerir la menor longitud de cable posible.

En la tabla 9 se puede observar los parámetros utilizados para el cálculo de cada sección y su posterior sección normalizada elegida para cada cable.

Tabla 9: Secciones normalizadas de los cables utilizados en el caso 1 y caso 2. Fuente: Propia.

		Total Longitud (m)	
		CASO 1	CASO 2
Monofásico	Sección 1,5 (mm <sup>2</sup> )	103	193
	Sección 2,5 (mm <sup>2</sup> )	205	196
	Sección 4 (mm <sup>2</sup> )	4	3
	Sección 10 (mm <sup>2</sup> )	-	8
	Sección 16 (mm <sup>2</sup> )	12	-
	Sección 25 (mm <sup>2</sup> )	-	19
Trifásico	Sección 70 (mm <sup>2</sup> )	119	119

### 7.5 Características técnicas para interconexión entre campo solar, -REE y punto de consumo

En este último apartado, se va a estudiar la conexión eléctrica de B.T desde el inversor hasta el punto de consumo a red del centro educativo, (Figura 33).

Como en los dos casos estudiados usamos el mismo inversor, con una salida de 400V, no será necesario ningún Centro de Transformación previo para aumentar la tensión de salida, pudiendo conectarse directamente el inversor al CSI (Centro de Seccionamiento Independiente) con sus pertinentes protecciones.

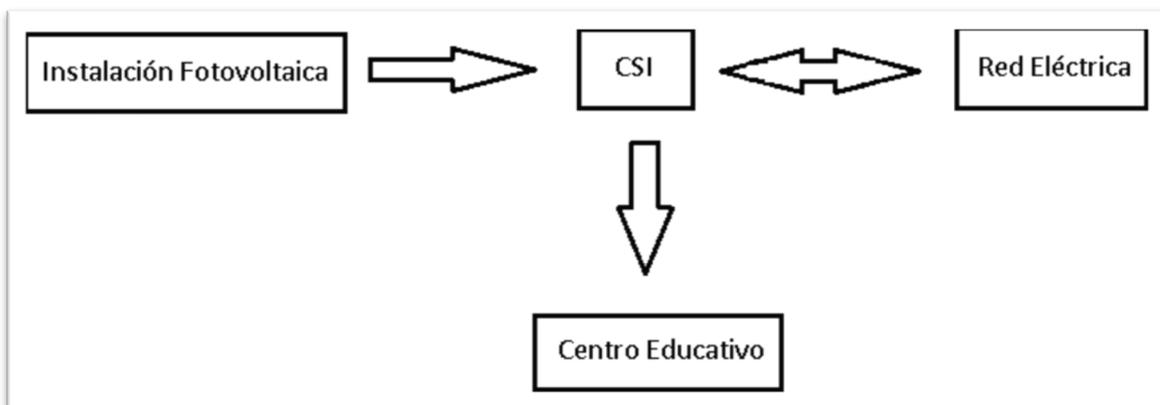


Figura 33: Esquema general de nuestra interconexión. Fuente: Propia

El CSI está formado por tres protecciones de líneas conectadas entre sí, siendo una de entrada y salida donde se conecta REE, otra de entrada de procedente de nuestra instalación fotovoltaica y la última será una celda de línea de salida hacia el punto de consumo, en nuestro caso el centro educativo.

De esta forma el CSI constituye el punto de unión entre red eléctrica, instalación fotovoltaica y consumo, por donde entra la energía producida por la instalación solar y por donde saldrá la energía demandada. En el caso en el que la producción sea inferior a la demanda, la línea de red eléctrica aportará la energía necesaria y cuando la producción sea superior a la demanda, se podría verter el exceso producido.

Respecto a las protecciones del CSI, la instalación contará con interruptores automáticos magnetotérmicos de la marca ABB. Esto es debido a que son más fáciles de manejar y reconectar que los fusibles y a que la instalación no es de elevada potencia. Para la elección de dicho interruptor se ha obtenido la intensidad de diseño a través de la potencia máxima del inversor ( $P=27\text{kW}$ ).

- Intensidad de diseño para el interruptor  $\rightarrow I_{d_{int}}$

$$I_{d_{int}} = I \times 1,25 = 38,9 \times 1,25 = 49A \quad (13)$$

Teniendo en cuenta este resultado, se escogió un interruptor con intensidad de 63A.

Con relación al poder de corte, el Reglamento de Baja Tensión dice que para instalaciones fotovoltaicas la corriente de cortocircuito mínima debe superar los 12kA y la máxima debe ser de 50kA. Por ello, sin entrar en el cálculo estricto del poder de corte y asesorado por el profesor Carlos Roldán, se escogió un poder de corte de 25kA.

Para finalizar, entre la instalación solar y el CSI se colocará un equipo de medida con su respectiva protección, para conocer la energía producida por la instalación.

Aunque ya se ha mencionado con anterioridad, se recuerda que el cálculo y dimensionado de las protecciones no se incluyen en este Trabajo de Fin de Grado.

Se deja constancia que todos los cálculos y elección de características eléctricas que se exponen en este apartado, han sido directamente asesoradas y revisadas por el profesor Carlos Roldán.



## 8 PRESUPUESTO DEL TFG

En este apartado se expone el estudio de coste de la elaboración del proyecto, objeto de este Trabajo Fin de Grado.

### 8.1 Recursos Humanos

Para realizar el siguiente presupuesto se ha realizado un estudio económico de los recursos humanos y ofimáticos empleados en el desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se analizan los costes referentes a la mano de obra empleada para el desarrollo del Trabajo de Fin de Grado. Como se puede observar en la tabla 10, se recopilan las horas trabajadas por el alumno, tutorías, reuniones con el centro educativo y km de desplazamiento.

Tabla 10: Corte Recursos Humanos. Fuente: Propia

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
h	Futuro graduado GITI	300,00	10,00	3.000,00
h	Tutora UPV	10,00	35,00	350,00
h	Profesores UPV	5,00	35,00	175,00
h	Reuniones con el centro educativo	5,00	35,00	175,00
km	Desplazamiento al centro educativo	60,00	0,31	18,60
<b>Total</b>				<b>3.718,60</b>

### 8.2 Amortización Ofimática

A continuación, se recopilan los gastos ofimáticos derivados del uso de aplicaciones informáticas técnicas para trabajos de oficina y del uso del ordenador portátil, (Tabla 11).

Tabla 11: Corte Ofimático. Fuente: Propia

Descripción unidad de obra	Precio (€)	Periodo Amortización	Periodo Amortizado	Importe (€)
Paquete Office 365 licencia estudiantes	120	1 año	6 meses	60,00
AutoCad licencia estudiantes	0	1 año	2 meses	0,00
Ordenador Portatil	1200	5 año	6 meses	118,36
<b>Total</b>				<b>178,36</b>

### 8.3 Presupuesto Total

Tabla 12: Coste Total. Fuente: Propia

U.M	Descripción unidad de obra	Importe (€)
u	Recursos humanos	3.718,60
u	Amortización ofimática	178,36
<b>Total</b>		<b>3.896,96</b>

### 8.4 Presupuesto Total de Ejecución y Presupuesto Total

Tabla 13: Presupuesto de Ejecución. Fuente: Propia

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>3.896,96</b>
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN</b>	<b>3.896,96</b>
<b>IVA (21%)</b>	<b>818,36</b>
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>4.715,32</b>

*El Presupuesto total del proyecto asciende a la cantidad de CUATRO MIL SETECIENTOS QUINCE EUROS CON TREINTA Y DOS CENTÉSIMAS.*

## 9 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Para poder abordar este capítulo, se contactó con el centro educativo ya que, al ser una cooperativa, se necesitaba conocer si iban a necesitar una financiación económica o disponían de fondos propios. En la reunión mantenida, comentaron que tenían fondos propios como para asumir el coste del proyecto en ambas opciones estudiadas. Por lo tanto, no hay un cálculo de financiación clásico como tal ya que no hay que pedir una financiación económica. Al no necesitar financiación, sólo habría coste por mantenimiento

Para elaborar el proyecto de viabilidad económica se ha tenido que hacer el cálculo del presupuesto total de ambas instalaciones fotovoltaicas, que se resume en la tabla 14.

Todos los detalles del cálculo de estos presupuestos quedan reflejados en el **ANEXO B**.

Tabla 14: Resumen presupuesto ejecución material y presupuesto final para ambos casos. Fuente: Propia.

	Caso 1	Caso 2
Presupuesto de ejecución material (€)	27.376,07	35.953,45
Presupuesto Final (€)	39.087,56	51.334,34

### 9.1 Consideraciones Iniciales

Con relación a las consideraciones iniciales previas al estudio de viabilidad, decir que:

- *Instalación fotovoltaica:*
  - Se considera que la instalación genera la energía para la que ha sido diseñada (64,4% de la demanda máxima mensual para el caso 1 y 100% de la demanda máxima mensual para el caso 2) de manera que la red eléctrica solo requerirá un 35,6% del consumo total del año 2019 para el caso 1 y un 0% del consumo total del año 2019 para el caso 2, (Tabla 15)
  - No se consideran las pérdidas de rendimiento de las placas, ya que se tiene en cuenta el coste de mantenimiento que asegurará el funcionamiento de las instalaciones a alto rendimiento y la sustitución de módulos en caso de fallo.

Tabla 15: Distribución del porcentaje de energía autogenerada y suministrada por la distribuidora, dependiendo de cada hipótesis realizada. Fuente: Propia

	Caso 1	Caso 2
Energía suministrada por instalación fotovoltaica (%)	65,50	100,00
Energía suministrada por distribuidora (%)	35,50	0,00

- **Coste de Mantenimiento:**
  - Respecto al mantenimiento, la empresa de los módulos se encargaría de ello durante los dos primeros años. Para el resto de los años, se va a calcular un valor del coste aproximado que se mantendrá constante.
- **Contrato con la distribuidora:**
  - Solo se tendrá en cuenta la parte de la factura eléctrica correspondiente a la energía consumida. El contrato de potencia no variará, por lo que no se tendrá en cuenta en la comparativa.
  - Según las paginas oficiales, el precio de la energía media en el año 2019 con el 21% del IVA incluido fue de 0,072 €/KWh, este precio se tomará como precio base.
- **Amortización del proyecto:**
  - Los años de vida que se espera de la instalación a buen rendimiento son de 25-30 años, por lo que el análisis económico se hará para este marco temporal.
  - No se va a tener en cuenta en cuenta la variación del valor de la moneda a lo largo de los años.
  - El precio de la energía en venta y compra se considerará constante.
  - Se considera que cada año la demanda del centro educativo se mantiene constante, según los datos recopilados del año 2019.
  - El presupuesto de la instalación asciende a **39.084,64€ para el caso 1** y a **51.329,97€ para el caso 2**. Al tratarse de una cooperativa de 26 integrantes, el centro educativo afrontaría el pago total del capital sin necesidad de solicitar financiación bancaria de ningún tipo.

## 9.2 Cálculo del Mantenimiento de la Instalación Solar

Para el siguiente cálculo se tendrá en cuenta que:

- Se realiza un mantenimiento mensual.
- Se supone que se sustituye el 50% de las placas fotovoltaicas de la instalación completa en la vida útil del proyecto y se repercute de manera proporcional en cada año. Por lo tanto, para el cálculo mensual, nos sale una sustitución de 0,16 placas por mes.

- Cada mantenimiento requiere 8 hora de un oficial primero de electricidad y una hora de un especialista en electricidad. Se estiman 3 revisiones anuales, al inicio del curso, después de las vacaciones de navidad y tras las vacaciones de pascua. Para el cálculo mensual, necesitaríamos 2 horas/mes de cada trabajador.
- Se consideran los gastos por desplazamiento.
- Al cálculo del mantenimiento hay que añadir un 2 % de costes directos complementarios y un 21% de IVA.

El presupuesto final del mantenimiento mensual se presenta en la tabla 16.

Tabla 16: Coste mensual del mantenimiento de ambas hipótesis de instalación solar. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
h	Oficial 1º electricidad	2,00	16,58	33,16
h	Especialista electricidad	2,00	14,10	28,20
u	Módulo fotovoltaico	0,16	197,69	31,63
km	Desplazamiento	30,00	0,31	9,30
%	Costes Directos Complementarios	0,02	102,29	2,05
%	IVA	0,21	104,34	21,91
<b>Total</b>				<b>126,25</b>

### 9.3 Tiempo de recuperación de la inversión

Tras haber realizado el estudio de ambos casos, se ha comparado el importe total de las facturas (con IVA) del centro educativo del año 2019, con el ahorro energético que supondría la implantación de la instalación fotovoltaica para ambos casos. El resumen de dicha comparativa se representa tabla 17.

Tabla 17: Tiempo de recuperación de la inversión para cada hipótesis estudiada. Fuente: Propia.

	Caso 1	Caso 2	Comparativa Caso 2 frente Caso 1
Coste Energético Anual Pre-Instalación (€)	12.849,75	12.849,75	0,00
Coste Energético Anual Post-Instalación (€)	7.738,72	5.046,65	-2.692,07
Ahorro Anual (€)	5.111,03	7.803,10	2.692,07
Precio Proyecto (€)	39.087,56	51.334,34	12.246,79
Mantenimiento mensual (€)	126,25	126,25	0,00
Mantenimiento Anual (€)	1.514,96	1.514,96	0,00
Tiempo de recuperación inversión (Años)	7,94	6,77	-1,17

El coste energético después de haber realizado la instalación fotovoltaica es mayor en el caso 1 que en el caso 2 debido a que la primera instalación cubre el 65,5% de la demanda energética y mientras que la segunda instalación cubre el total de la demanda energética.

Resumen Factura		
Término de Potencia		193,00 €
Consumo de Energía		388,66 €
Descuento		-85,50 €
Reactiva		31,26 €
Alquiler equipos de medida y control		7,58 €
Impuesto electricidad		26,97 €
Base Imponible		561,97 €
IVA	21 %	118,01 €
<b>Importe</b>		<b>679,98 €</b>

Figura 34: Parte de una factura del centro educativo estudiado. Fuente: Propia.

Como se puede observar en el desglose de una de las facturas del centro educativo (Figura 34), a pesar del abaratamiento del importe total gracias a nuestros paneles solares, siempre vamos a tener impuestos por la compañía eléctrica que se deberán cubrirá además de la energía suministrada por la distribuidora.

En resumen, la inversión en el caso 1, se recuperaría prácticamente en **ocho años**. Sin embargo, el tiempo de recuperación de la inversión para el caso 2, rondaría los **siete años**.



## 10 CONCLUSIONES

La realización de un Estudio técnico y de viabilidad económica de dos opciones de instalación fotovoltaica de 33kW y 49,5kW, para cubrir las necesidades de consumo de un colegio de la población de Godella, ha permitido finalmente llegar a las siguientes conclusiones:

1. La búsqueda de antecedentes del estudio técnico ha permitido profundizar en la importancia de las energías renovables y del desarrollo sostenible.
2. Haber sido antiguo alumno del centro y haber mantenido el contacto ha permitido el conocimiento de la ampliación del centro y poder comentar con ellos, las posibilidades que esta reforma podía tener si se incorporaba una instalación fotovoltaica.
3. El estudio energético de los dos casos de instalación fotovoltaica planteados ha permitido comparar la producción energética tanto para la demanda de energía en horas diurnas como para la demanda de energía total.
4. El factor limitante para la elección del panel fotovoltaico fue el coste unitario de cada panel solar. dado que la diferencia en potencia y eficiencia de las distintas posibilidades de placa solar era mínima. Finalmente, se decidió escoger el panel más barato y añadir alguna placa solar de más. De esta forma se aseguraría la recuperación de esa pérdida de eficiencia con la elección del panel más barato se recuperaba.
5. Aunque la distribución de las placas fotovoltaicas en una superficie irregular asimétrica ha podido ser una dificultad, se ha resuelto y ha sido posible cuadrar los paneles y mantener la simetría en el número de placas a cada lado del inversor.
6. La elección de los componentes eléctricos como la elección del inversor, cajas de conexiones o cableado, se han adaptado a los requerimientos de la propia instalación en cuanto a demanda de tensión, potencia e intensidad y a los requerimientos contemplados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
7. Como recomendación personal me inclinaría por la instalación del caso 2 que asume la demanda total del centro. La inversión inicial supondría un coste de diferencia con respecto a la instalación del caso 1 de 12.246,79€, sin embargo, permitiría un ahorro anual de 2.692,07€ frente al caso 1. La instalación empezaría a ser rentable prácticamente desde el séptimo año.



## **CONCLUSIÓN FINAL**

La conclusión final de este estudio técnico y de viabilidad económica es que ambas instalaciones estudiadas son técnicamente posibles y económicamente rentables. Tan solo quedaría pendiente de abordar la posibilidad de un vallado de protección en la zona colindante con el patio del recreo del centro.

## **CONCLUSION PERSONAL**

En el desarrollo de este trabajo ha sido importante la aplicación de parámetros y cálculos estudiados en asignaturas como Tecnología Energética, Tecnología Eléctrica, Proyectos o Ingeniería Gráfica, dentro del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales que me han dotado de las herramientas necesarias, para poder elaborar este estudio técnico y económico.

El hecho de saber cómo actuar, como aplicar formulas y hacer cálculos, como contactar con expertos en las distintas materias y sobre todo, como tomar decisiones en el mundo de la ingeniería industrial, es de gran importancia.

Me gustaría destacar la capacidad de trabajo y estudio, así como la serenidad y paciencia que me ha inculcado el Grado de Ingeniería Industrial. También, me gustaría destacar la experiencia y los consejos de los profesores de las distintas materias que han sido indispensables para adquirir los conocimientos necesarios, tanto para mi carrera, como para la correcta elaboración de este trabajo.

Profundizar en el mundo de las energías renovables me ha permitido volver al centro educativo en el que me formé, pero en esta ocasión de una forma distinta, como un profesional junior.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

- AMB Green Power. (01 de Enero de 2020). <http://www.ambgreenpower.com/>. Obtenido de <http://www.ambgreenpower.com/>:  
[http://www.ambgreenpower.com/cajas\\_de\\_conexiones.aspx](http://www.ambgreenpower.com/cajas_de_conexiones.aspx)
- AMB Green Power. (01 de Julio de 2020). <http://www.ambgreenpower.com/>. Obtenido de <http://www.ambgreenpower.com/>:  
[http://www.ambgreenpower.com/cuadro\\_strings\\_5.aspx](http://www.ambgreenpower.com/cuadro_strings_5.aspx)
- Axial Structural Solutions. (01 de Enero de 2017). [axialstructural.com](http://axialstructural.com). Obtenido de [www.axialstructural.com](http://www.axialstructural.com): <https://www.axialstructural.com/el-origen-de-la-energia-solar-fotovoltaica#:~:text=En%201946%20Russell%20Ohl%20patent%C3%B3,solare%2C%20instaladas%20en%20sat%C3%A9lites%20espaciales>.
- BOE. (12 de julio de 2013). [www.boe.es](http://www.boe.es). Obtenido de [www.boe.es](http://www.boe.es):  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7705>
- BOE. (09 de Octubre de 2015). [www.boe.es](http://www.boe.es). Obtenido de [www.boe.es](http://www.boe.es):  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10927](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10927)
- BOE. (05 de Abril de 2019). [www.boe.es](http://www.boe.es). Obtenido de [www.boe.es](http://www.boe.es):  
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>
- CNMC. (s.f.).
- Comisión Europea. (01 de Enero de 2018). [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Recuperado el 23 de 06 de 2020, de [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu): [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es)
- Comisión Europea. (28 de Noviembre de 2018). [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Obtenido de [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu): [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_es#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es#tab-0-0)
- Comisión Europea. (s.f.). [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Obtenido de [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu):  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es)
- Comisión Europea. (s.f.). [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Obtenido de [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu):  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es)
- Corresponsables. (13 de Diciembre de 2015). [www.corresponsables.com](http://www.corresponsables.com). Obtenido de [www.corresponsables.com](http://www.corresponsables.com): [https://www.corresponsables.com/actualidad/el-acuerdo-de-paris-al-detalle?gclid=Cj0KCQjw0Mb3BRCaARIsAPsNGpXWx5MVP4UtJixJzDXjH-seN-nzQ0ayglzfKdkb4DMLoag2rza0szgaAtz6EALw\\_wcB](https://www.corresponsables.com/actualidad/el-acuerdo-de-paris-al-detalle?gclid=Cj0KCQjw0Mb3BRCaARIsAPsNGpXWx5MVP4UtJixJzDXjH-seN-nzQ0ayglzfKdkb4DMLoag2rza0szgaAtz6EALw_wcB)
- Energía Solar. (12 de febrero de 2016). [solar-energia.net](http://solar-energia.net). Obtenido de [solar-energia.net](http://solar-energia.net): <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos>
- Fronius. (01 de Julio de 2020). [www.fronius.com](http://www.fronius.com). Obtenido de [www.fronius.com](http://www.fronius.com):  
<https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/productos/todos-los-productos/inversor/fronius-eco/fronius-eco-27-0-3-s>
- Iberdrola. (01 de Enero de 2018). [www.iberdrola.com](http://www.iberdrola.com). Obtenido de [www.iberdrola.com](http://www.iberdrola.com): <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/acuerdos-internacionales-sobre-el-cambio-climatico>
- Iberley. (05 de Octubre de 2018). [www.iberley.es](http://www.iberley.es). Obtenido de [www.iberley.es](http://www.iberley.es):  
<https://www.iberley.es/legislacion/rd-ley-15-2018-5-oct-medidas-urgentes-transicion-energetica-proteccion-consumidores-26053116>
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (01 de Enero de 2019). [www.idae.es](http://www.idae.es). Obtenido de [www.idae.es](http://www.idae.es):



- [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e3\\_impacto\\_economico\\_4666bcd2.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e3_impacto_economico_4666bcd2.pdf)
- Instituto cartográfico de Valencia. (28 de junio de 2020). <http://visor.gva.es/>. Recuperado el junio de 2020, de <http://visor.gva.es/>: <http://visor.gva.es/visor/>
- Instituto de Tecnologías Educativas. (01 de Enero de 2017). [fferrer.webs.ull.es](http://fferrer.webs.ull.es). Obtenido de [fferrer.webs.ull.es](http://fferrer.webs.ull.es): [https://fferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11\\_efecto\\_del\\_angulo\\_deincidencia\\_de\\_los\\_rayos\\_solares\\_sobre\\_la\\_irradiancia.html](https://fferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11_efecto_del_angulo_deincidencia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiancia.html)
- Irena. (01 de Enero de 2018). [Irena.org](http://www.irena.org). Obtenido de [www.irena.org](http://www.irena.org): [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2018\\_summary\\_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2018_summary_ES.pdf?la=en&hash=A5492C2AAC7D8E7A7CBF71A460649A8DEDB48A82)
- Landín, P. (s.f.). <http://pelandintecno.blogspot.com/>. Obtenido de <http://pelandintecno.blogspot.com/>: <http://pelandintecno.blogspot.com/2014/04/como-funciona-una-union-pn.html>
- Lorenzo, J. A. (01 de Enero de 2019). [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com). Obtenido de [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com): <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/el-mejor-panel-solar-del-mundo/>
- Mártel, I. (25 de Noviembre de 2019). [CdeComunicación](http://blogs.cdecomunicacion.es). Obtenido de [blogs.cdecomunicacion.es](http://blogs.cdecomunicacion.es): <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/11/25/energia-fotovoltaica-panorama-mundial/#:~:text=Los%20principales%20fabricantes%20de%20m%C3%B3dulos,Asia%2C%20siendo%20el%20principal%20Jap%C3%B3n>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (19 de 05 de 2020). [www.miteco.gob.es](http://www.miteco.gob.es). Obtenido de [www.miteco.gob.es](http://www.miteco.gob.es): <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-env%C3%ADa-a-las-cortes-el-primer-proyecto-de-ley-de-cambio-clim%C3%A1tico-y-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-para-alcanzar-la-neutralidad-de-emisiones-a/tcm:30-509229>
- ONU. (s.f.). [www.un.org](http://www.un.org). Obtenido de [www.un.org](http://www.un.org): <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Planas, O. (13 de Mayo de 2015). [solar-energia.net](http://solar-energia.net). Obtenido de [solar-energia.net](http://solar-energia.net): <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>
- Prysmian. (13 de Mayo de 2019). [www.prysmianclub.es](http://www.prysmianclub.es). Obtenido de [www.prysmianclub.es](http://www.prysmianclub.es): <https://www.prysmianclub.es/cambios-en-la-edificacion-la-normativa-que-viene-de-europa-iv/>
- PVGIS. (01 de Enero de 2019). [PVGIS](http://PVGIS). Obtenido de [PVGIS](http://PVGIS): <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- PVGIS. (5 de Julio de 2020). [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu). Obtenido de [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu): <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- Raffino, M. E. (10 de diciembre de 2019). [concepto.de](http://concepto.de). Obtenido de [Penel Solar](http://concepto.de): <https://concepto.de/panel-solar/>
- Red Eléctrica de España. (31 de 12 de 2018). [www.ree.es](http://www.ree.es). Obtenido de [www.ree.es](http://www.ree.es): [https://www.ree.es/sites/default/files/11\\_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2018.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2018.pdf)
- REVE. (17 de Enero de 2020). [www.evwind.com](http://www.evwind.com). Obtenido de [www.evwind.com](http://www.evwind.com): <https://www.evwind.com/2020/01/17/la-energia-solar-fotovoltaica-en-espana/>



- SFV- Fundamentos Celdas. (01 de Enero de 2018). <http://paginas.fisica.uson.mx/>.  
Obtenido de <http://paginas.fisica.uson.mx/>:  
[http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula\\_virtual/Cursos/Electronica/Documentos/Celdas\\_Solares1.pdf](http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula_virtual/Cursos/Electronica/Documentos/Celdas_Solares1.pdf)
- UNE 20460. (10 de julio de 2020). [www.une.org](http://www.une.org). Obtenido de [www.une.org](http://www.une.org):  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0032340>
- UNE 60363. (10 de Julio de 2020). [www.une.org](http://www.une.org). Obtenido de [www.une.org](http://www.une.org):  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057935>
- World Vision. (01 de Enero de 2018). [www.worldvision.es](http://www.worldvision.es). Obtenido de [www.worldvision.es](http://www.worldvision.es): [https://www.worldvision.es/actualidad/blog/objetivos-de-desarrollo-sostenible?gclid=Cj0KCQjw0Mb3BRCaARIsAPSNgpUWxR7fsU2AYtajukv2BMISNDZVoVzh7ZyjWo3t8NzsULKKgPKfwkMaAq9PEALw\\_wcB](https://www.worldvision.es/actualidad/blog/objetivos-de-desarrollo-sostenible?gclid=Cj0KCQjw0Mb3BRCaARIsAPSNgpUWxR7fsU2AYtajukv2BMISNDZVoVzh7ZyjWo3t8NzsULKKgPKfwkMaAq9PEALw_wcB)
- Mártil, I. (25 de Noviembre de 2019). CdeComunicación. Obtenido de [blogs.cdecomunicacion.es](https://blogs.cdecomunicacion.es):  
<https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/11/25/energia-fotovoltaica-panorama-mundial/#:~:text=Los%20principales%20fabricantes%20de%20m%C3%B3dulos,Asia%2C%20siendo%20el%20principal%20Jap%C3%B3n>.





# PLIEGO DE CONDICIONES





## **REGLAMENTO TECNICO DE BAJA TENSION**

Para la instalación del cableado eléctrico, entubado y protecciones eléctricas correspondientes, se deberá seguir las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) del Reglamento Eléctrico de Baja Tensión (REBT) según el Real Decreto 842/2002 del 2 de agosto, según la norma UNE-EN 50.090-2-2.

El citado reglamento tiene como finalidad establecer las condiciones técnicas y garantías que deben cumplir las instalaciones eléctricas conectadas a RED en Baja Tensión con el objetivo de:

- Asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones y prevenir fallos en otras instalaciones o servicios.
- Velar por la fiabilidad técnica y eficiencia económica de las instalaciones.
- Preservar la seguridad de las personas





# ANEXOS



# **ANEXO A: DISTRIBUCIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR PARA AMBOS CASO**

A continuación, se van a adjuntar los planos de AutoCad®, junto con los detalles a menor escala de las diferentes zonas importantes de las distribuciones de ambas hipótesis de instalación fotovoltaica.

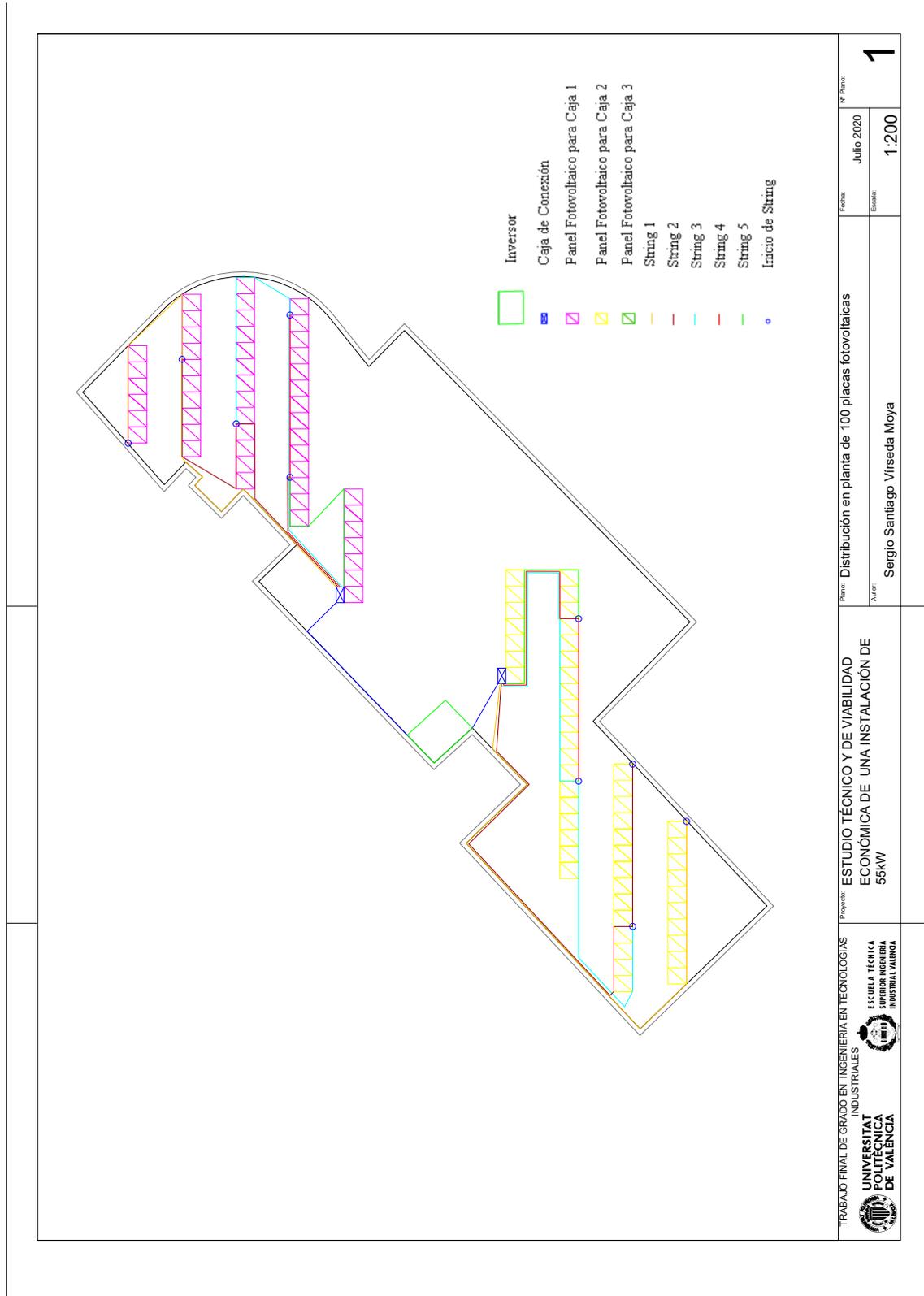


Figura A.1: Distribución de instalación fotovoltaica del caso 1. Fuente: Propia.

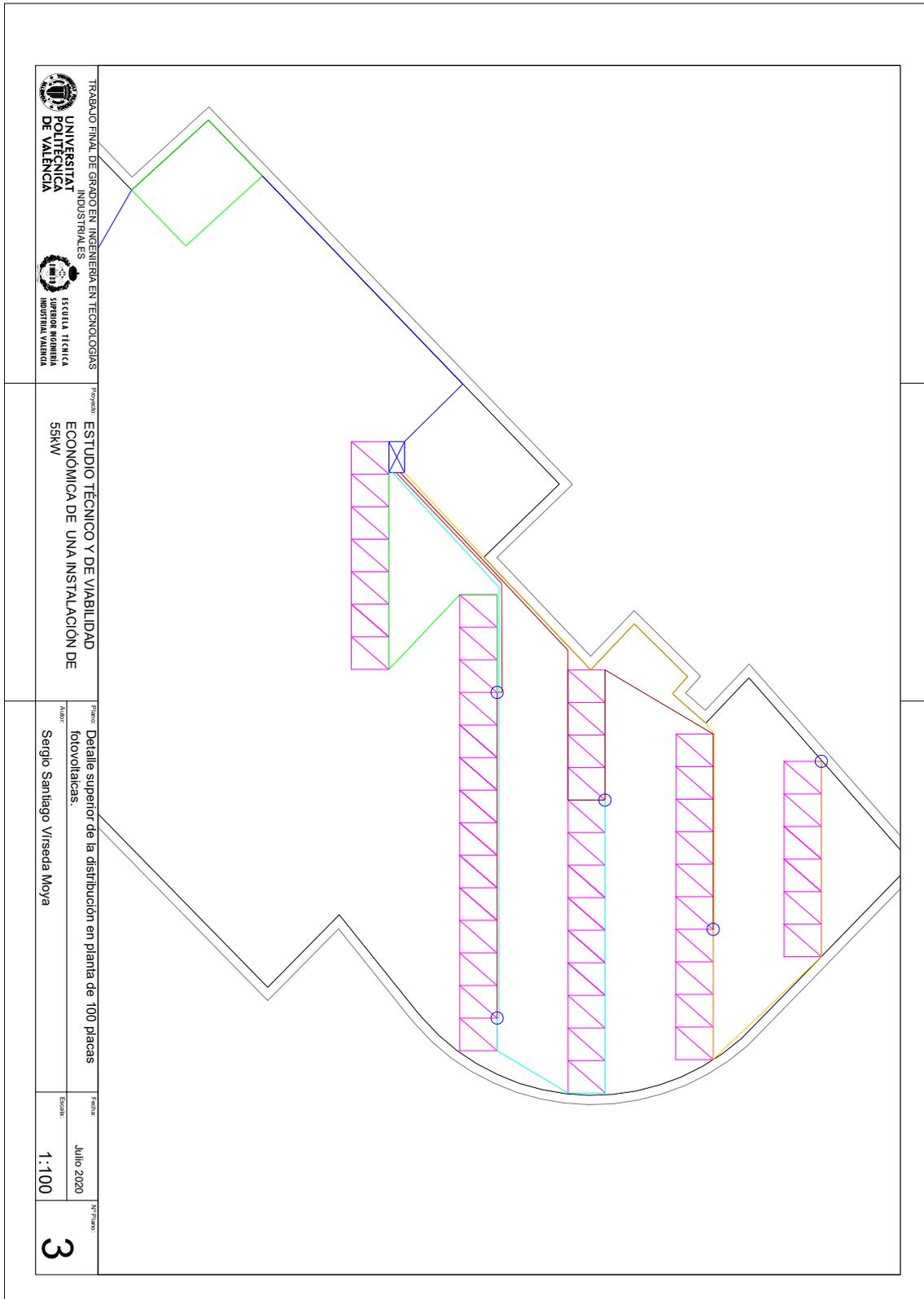


Figura A.2: Detalle superior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 1. Fuente: Propia.

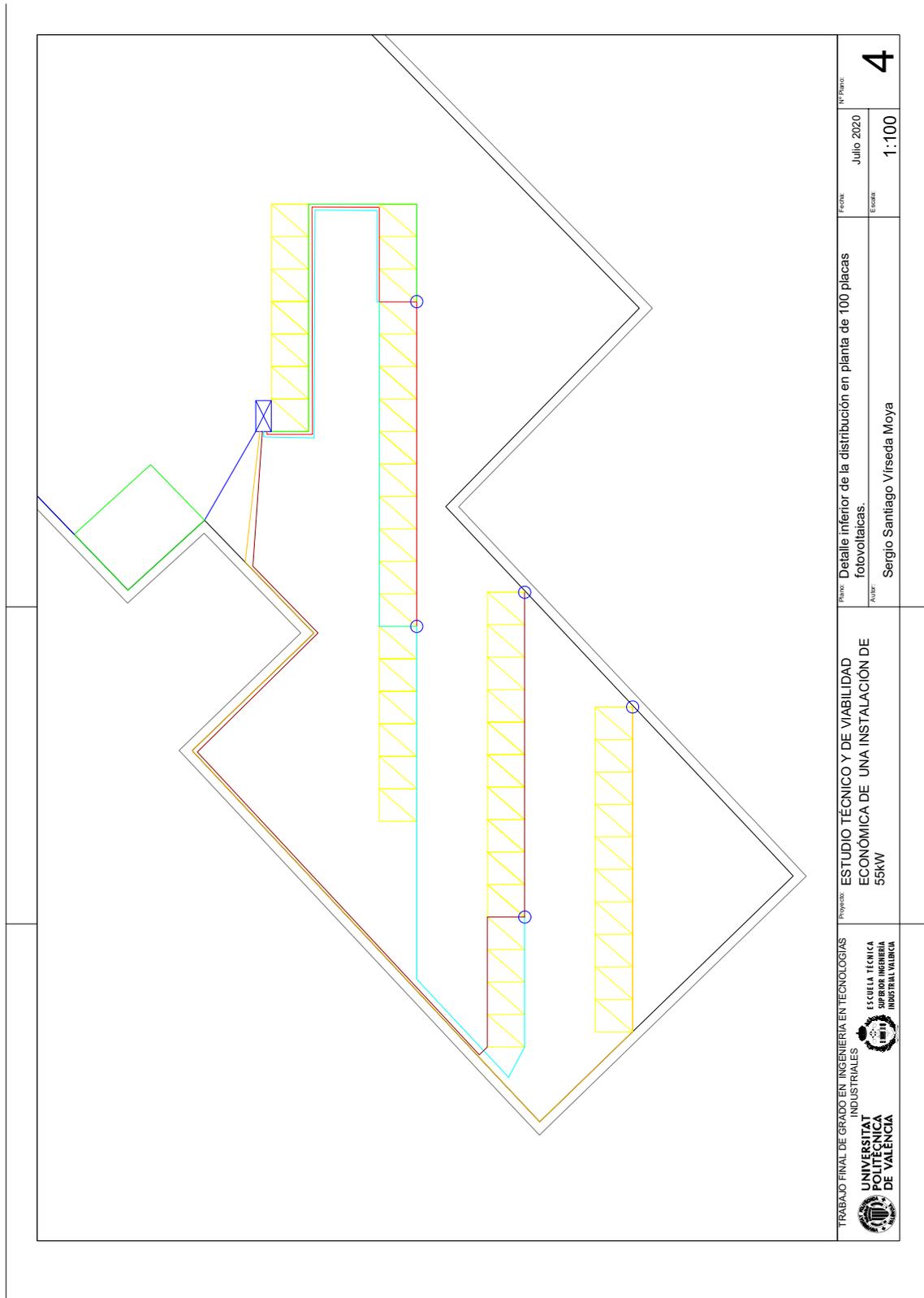


Figura A.3: Detalle inferior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 1. Fuente: Propia.

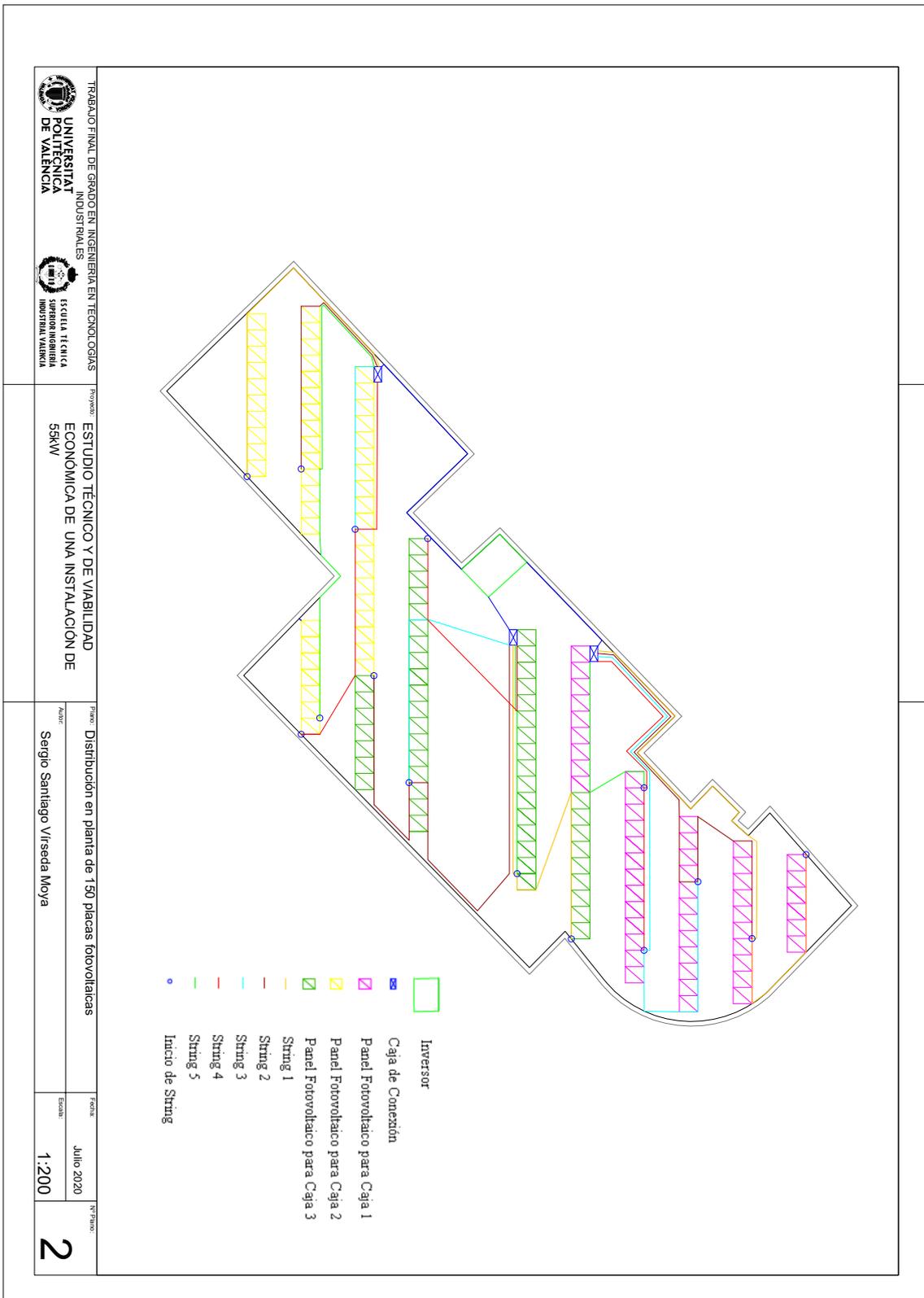


Figura A.4: Distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia.

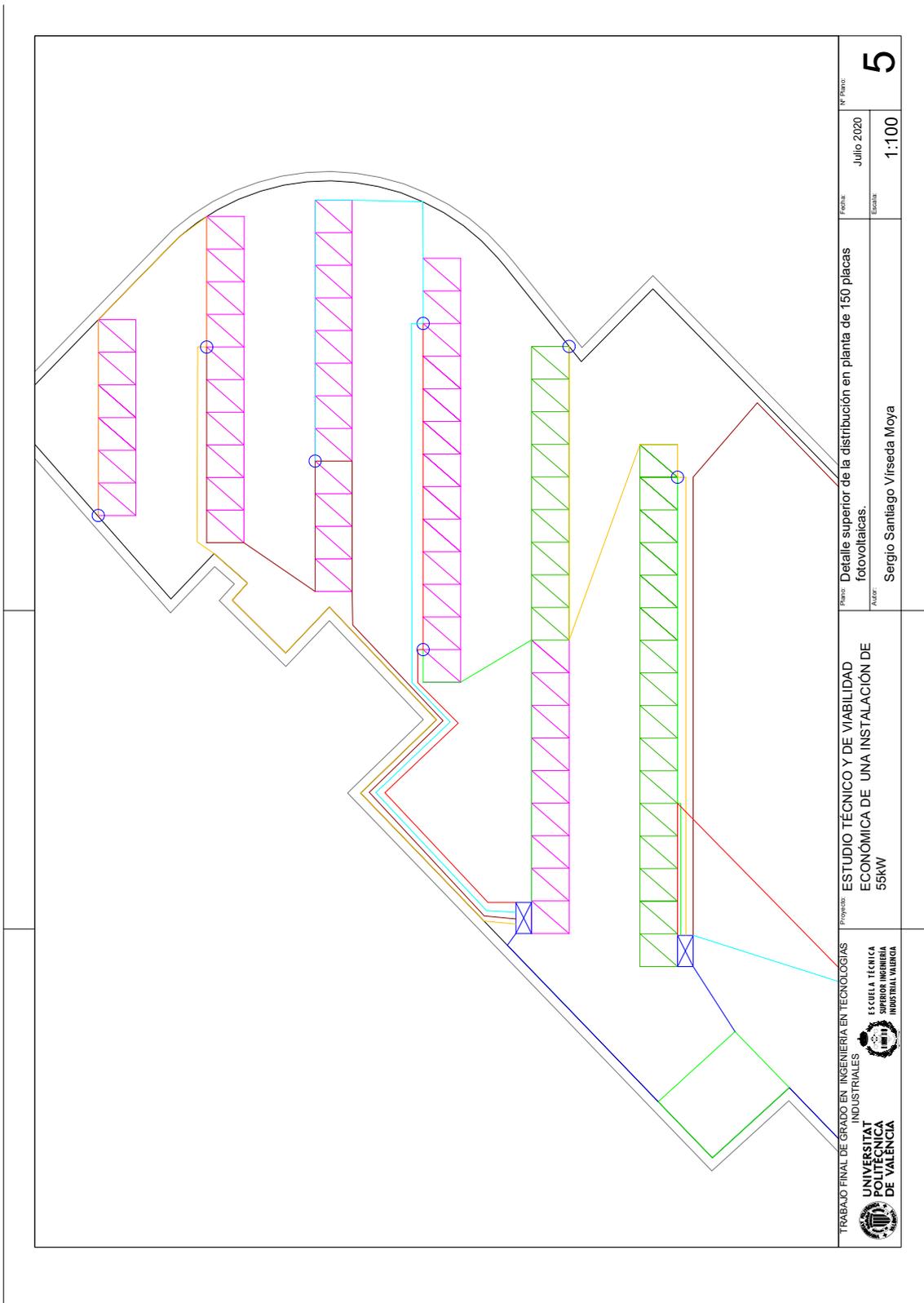


Figura A.5: Detalle superior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia.

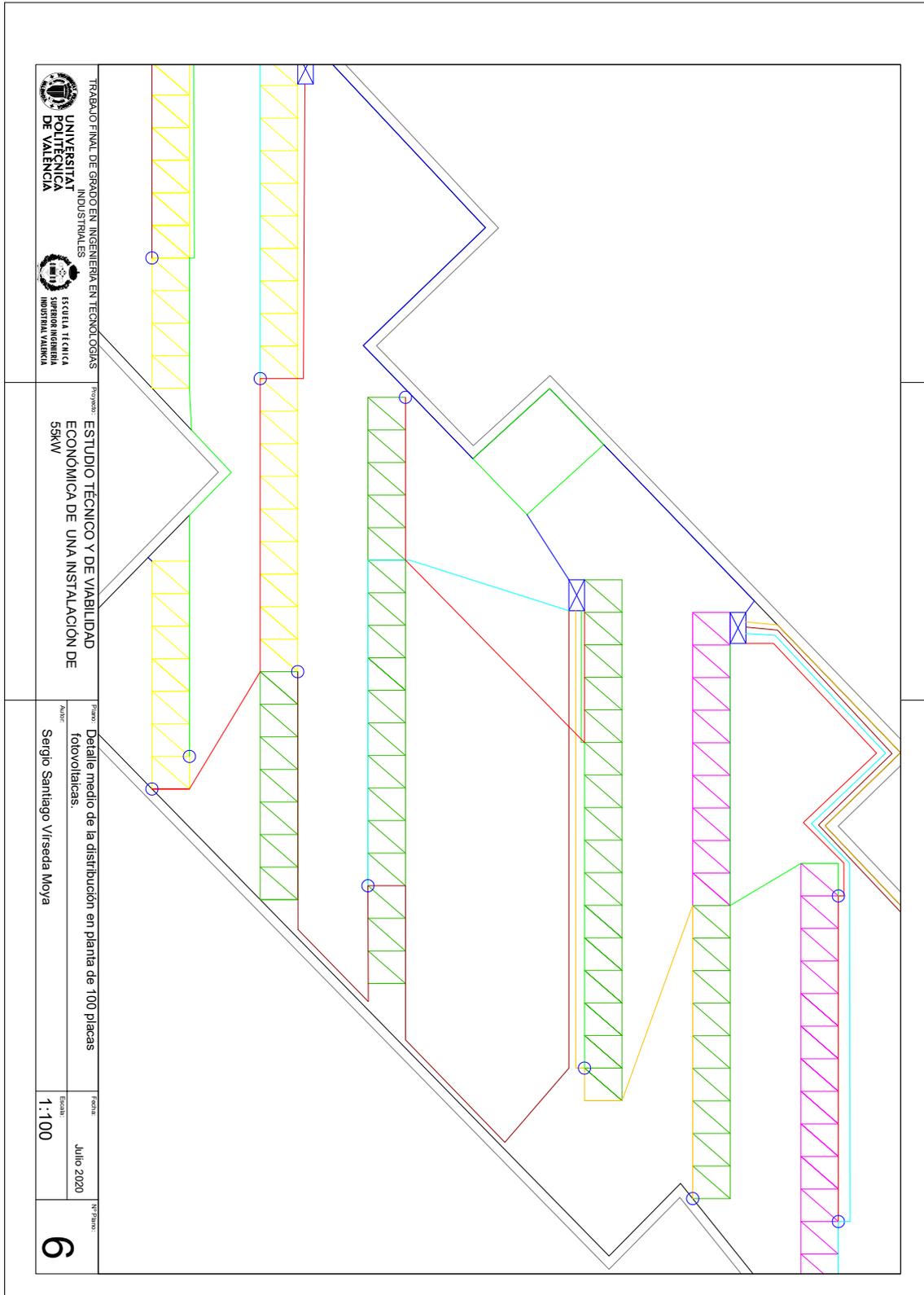


Figura A.6: Detalle medio de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia

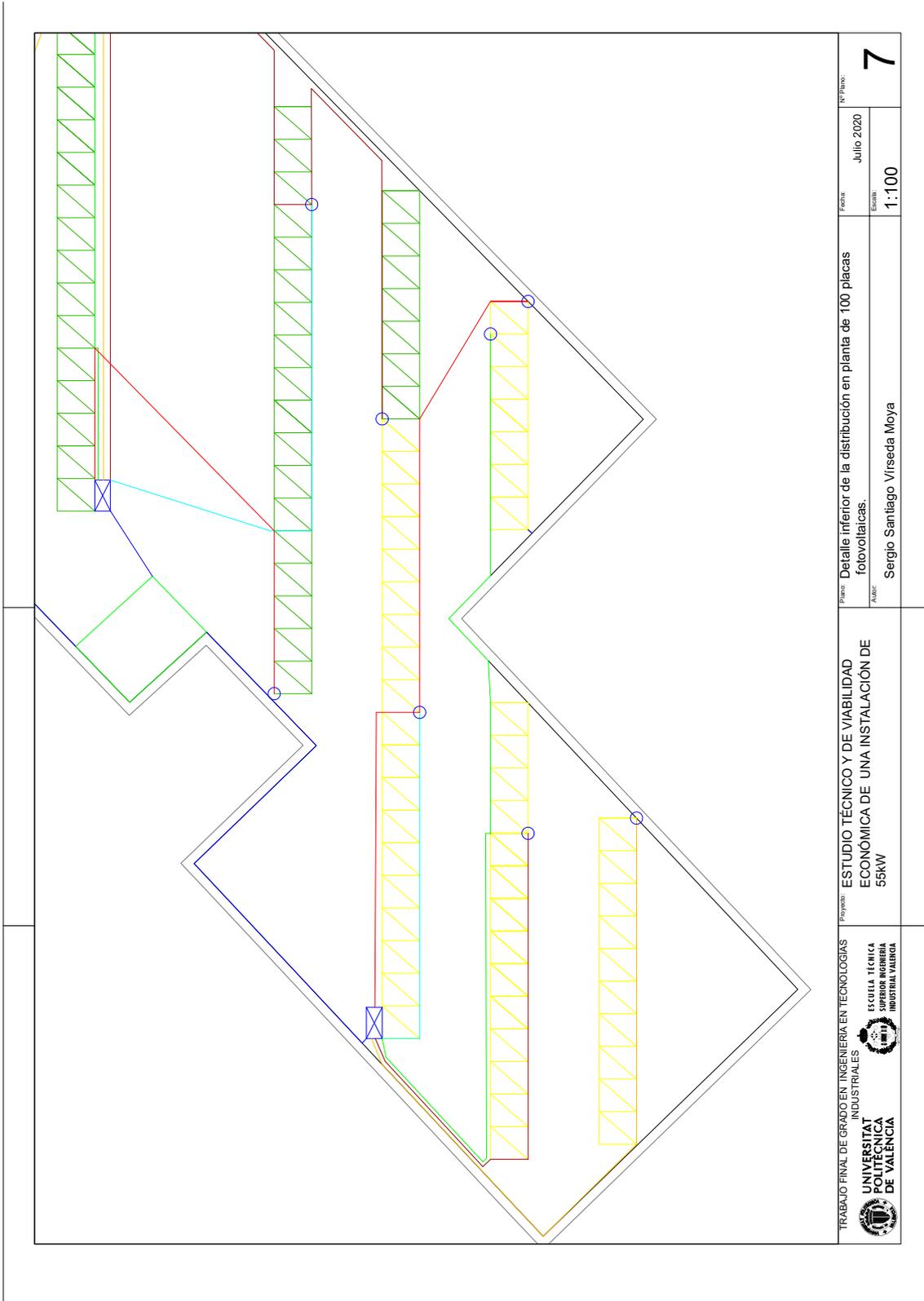


Figura A.7: Detalle inferior de la distribución de instalación fotovoltaica del caso 2. Fuente: Propia



## **ANEXO B: PRESUPUESTO TÉCNICO**

## Detalle de componentes y mediciones necesarios para el presupuesto

Las mediciones previas al presupuesto tienen como finalidad dar una visión lo más aproximada posible del coste real de la elaboración del proyecto. Para esta estimación, se tomó en consideración tanto la instalación solar, como la parte de interconexión.

Una vez definidos los objetivos del presupuesto y mediciones, deberemos: definir cada unidad de obra que participe en el proyecto, conocer el precio unitario de cada unidad de obra, realizar las mediciones necesarias y multiplicar cada unidad de obra por su precio unitario correspondiente.

### Medición de instalación solar y de interconexión para el caso 1

En las tablas 10 y 11 se representa la medición y unidad de medida de la parte de la instalación solar y de la interconexión para el primer caso estudiado de 100 placas solares.

*Tabla B.1: Medición para la instalación solar del caso 1. Fuente: Propia*

Descripción	Unidad Medida	Medición
Módulos fotovoltaicos	u	100
Inversor Fronius Eco 27.0-3-S	u	1
Concentrador "Strings"	u	2
Hornacina	u	1
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5 mm <sup>2</sup>	m	103
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x2,5 mm <sup>2</sup>	m	205
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x4 mm <sup>2</sup>	m	4
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x16 mm <sup>2</sup>	m	12
Cable Cu RV-K trifásico 0,6/1kV 1x70 mm <sup>2</sup>	m	119

*Tabla B.2: Medición para la interconexión del caso 1. Fuente: Propia*

Descripción unidad de obra	Unidad Medida	Medición
Interruptor Automático Magnetotérmico S801C-K63	u	1,00
Equipo de medida CPM2-S4	u	1,00

## Medición de instalación solar y de interconexión para el caso 2

En las tablas 12 y 13 se representa la medición y unidad de la parte de la instalación solar y de interconexión para el caso 2 donde se estudia la distribución de 150 placas solares.

*Tabla B.3: Medición para la instalación solar del caso 2. Fuente: Propia*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad Medida</b>	<b>Medición</b>
Módulos fotovoltaicos	u	150
Inversor Fronius Eco 27.0-3-S	u	1
Concentrador "Strings"	u	3
Hornacina	u	1
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5 mm <sup>2</sup>	m	193
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x2,5 mm <sup>2</sup>	m	196
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x4 mm <sup>2</sup>	m	3
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x10 mm <sup>2</sup>	m	8
Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 3x25mm <sup>2</sup>	m	19
Cable Cu RV-K trifásico 0,6/1kV 1x70mm <sup>2</sup>	m	119
Equipo de medida	u	1

*Tabla B.4: Medición para la interconexión del caso 2. Fuente: Propia*

<b>Descripción unidad de obra</b>	<b>Unidad Medida</b>	<b>Medición</b>
Interruptor Automático Magnetotérmico S801C-K63	u	1,00
Equipo de medida CPM2-S4	u	1,00

Para la elaboración del presupuesto del proyecto, se ha dividido en dos capítulos. El primer capítulo está destinado a la instalación solar y el segundo para la interconexión de las distintas partes.

Todos los elementos (mano de obra, maquinaria, materiales...) que aparecen en el siguiente presupuesto se han obtenido de la plataforma Cype, Generador de Precios, aprendido en la asignatura de Proyectos.

## CAPÍTULO 1: INSTALACIÓN SOLAR

Todo el presupuesto calculado a continuación es común en el caso 1 y el caso 2.

Tabla B.5: Cuadro de Precios Descompuestos, Módulo fotovoltaico. Fuente: Propia y Cype.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	<b>Módulo fotovoltaico Panasonic VBHN330SJ53</b> Modulo fotoico policristalino de alto rendimiento con 330W de potencia y 58V de tensión. Incluye estructura de soporte. Totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	1,00	16,56	16,56
u	Especialista electricidad	1,00	14,10	14,10
h	Oficial 1º construcción	0,20	15,77	3,15
u	Módulo fotovoltaico junto con estructura	1,00	159,98	159,98
%	Costes Directos Complementarios	0,02	193,79	3,88
<b>Total</b>				<b>197,67</b>

Tabla B.6: Cuadro de Precios Descompuestos, Inversor. Fuente: Propia y Cype.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	<b>Inversor Fronius Eco 27.0-3-S</b> Inversor de 6 entradas de 27kW de potencia máxima de entrada. Rango de tensiones a la entrada de 580-1000 V e intensidad máxima de entrada de 47,7A. Tensión a la salida de 400 V. Protección IP66. Totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,20	16,58	3,32
u	Inversor con protecciones	1,00	3.358,29	3.358,29
%	Costes Directos Complementarios	0,02	3.361,61	67,23
<b>Total</b>				<b>3.428,84</b>

Tabla B.7: Cuadro de Precios Descompuestos, Concentrador. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	<b>Concentrador "Strings" STC5 AMB Green Power</b> Concentrador "Strings" STC5 con tensión máxima a la entrada de 100A. Protección IP55. Fusible de 16A de protección en positivo y negativo incorporado. Totalmente instalado, comprobado y en correcto funcionamiento.			
h	Oficial 1º electricidad	0,20	16,58	3,32
u	Concentrador	1,00	313,00	313,00
%	Costes Directos Complementarios	0,02	316,32	6,33
<b>Total</b>				<b>322,64</b>

Tabla B.8: Cuadro de Precios Descompuestos, Hornacina. Fuente: Propia y Cype.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	<b>Hornacina</b> Suministro e instalación de hornacina prefabricada de hormigón tipo "nicho polígono" para alojamiento de inversor y protección con puerta de acero galvanizado con mirilla y fibras de refuerzo metálicas y propileno, colocada sobre base de hormigón. Totalmente instalada y comprobada.			
h	Oficial 1º construcción	1,00	15,77	15,77
h	Ayudante de construcción	1,00	13,63	13,63
u	Nicho polígono prefabricado	1,00	230,00	230,00
%	Costes Directos Complementarios	0,02	259,40	5,19
<b>Total</b>				<b>264,59</b>

Tabla B.9: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 1,5 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea monofásica formada por 1 cable RV-K multiconductor (fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 1,5mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5mm <sup>2</sup>	1,05	1,07	1,12
%	Costes Directos Complementarios	0,02	2,91	0,06
<b>Total</b>				<b>2,97</b>

Tabla B.10: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 2,5 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x2,5mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea monofásica formada por 1 cable RV-K multiconductor (fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 1,5mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5mm <sup>2</sup>	1,05	1,47	1,54
%	Costes Directos Complementarios	0,02	3,33	0,07
<b>Total</b>				<b>3,40</b>

Tabla B.11: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 4 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x4mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea monofásica formada por 1 cable RV-K multiconductor (fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 4mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x4mm <sup>2</sup>	1,05	2,17	2,28
%	Costes Directos Complementarios	0,02	4,07	0,08
<b>Total</b>				<b>4,15</b>

Tabla B.12: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 10 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x10mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea monofásica formada por 1 cable RV-K multiconductor (fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 10mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x10mm <sup>2</sup>	1,05	4,57	4,80
%	Costes Directos Complementarios	0,02	6,59	0,13
<b>Total</b>				<b>6,72</b>

Tabla B.13: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 16 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x16mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea monofásica formada por 1 cable RV-K multiconductor (fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 16mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x16mm <sup>2</sup>	1,05	6,99	7,34
%	Costes Directos Complementarios	0,02	9,13	0,18
<b>Total</b>				<b>9,31</b>

Tabla B.14: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 25 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 3x25mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea monofásica formada por 1 cable RV-K multiconductor (fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 25mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 3x25mm <sup>2</sup>	1,05	15,04	15,79
%	Costes Directos Complementarios	0,02	17,58	0,35
<b>Total</b>				<b>17,93</b>

Tabla B.15: Cuadro de Precios Descompuestos, Sección 70 mm<sup>2</sup>. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Cable Cu RV-K trifásico 0,6/1kV 1x70mm<sup>2</sup></b> Suministro y tendido de línea trifásica formada por 1 cable unipolar RV-K (3fase+neutro) de 0,6/1kV de tensión nominal, constituido por conductores de cobre flexible de 70mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina, totalmente instalada, conectada y en correcto estado de funcionamiento.			
h	Especialista electricidad	0,08	14,10	1,13
h	Oficial 1º electricidad	0,04	16,58	0,66
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 70mm <sup>2</sup>	1,05	12,46	13,08
%	Costes Directos Complementarios	0,02	14,87	0,30
<b>Total</b>				<b>15,17</b>

## CAPÍTULO 2: INTERCONEXIÓN

Dado que la interconexión de esta instalación no es objeto de estudio de este Trabajo Fin de Grado no se va a entrar en detalle, sin embargo, debe haber un presupuesto y estudio básico de la interconexión de las instalaciones desarrolladas.

Tabla B.16: Cuadro de Precios Descompuestos, Interruptor Automático Magnetotérmico C80. Fuente: Propia y Cype.

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
u	<b>Interruptor Automático Magnetotérmico S801C-K63</b> Interruptor automático magnetotérmico de marca ABB, con 25kA de poder de corte, de 63A de intensidad nominal, selectividad cable 3, tetrapolar. Protección IP20. Conexión mediante bornes de caja protegidos.			
h	Oficial 1º electricidad	0,25	16,58	4,16
u	Interruptor Automático Magnetotérmico S280C80	1,00	70,36	70,36
%	Costes Directos Complementarios	0,02	74,52	1,49
<b>Total</b>				<b>76,01</b>

Tabla B.17: Cuadro de Precios Descompuestos, Equipo de Medida. Fuente: Propia y Cype

U.M	Descripción unidad de obra	Rendimiento	Precio (€)	Importe (€)
m	<b>Equipo de medida CPM2-S4</b> Caja de protección y medida CPM"-S4, de hasta 63A de intensidad, para 1 contador trifásico, formada por una envolvente aislante, precintable, autoventilada y con mirilla de material transparente resistente a la acción de los rayos ultravioletas, para instalación empotrada. Incluso equipo completo de medida, bornes de conexión, bases cortacircuitos y fusibles para protección de la derivación individual.			
h	Oficial 1º construcción	0,30	15,77	4,75
h	Oficial 1º electricidad	0,50	16,58	8,32
h	Peón ordinario construcción	0,30	13,11	3,95
h	Ayudante electricista	0,50	14,10	7,08
m	Tubo de PVC liso, serie B, de 160mm de diámetro exterior y 3,2 mm de espesor, según UNE-EN-1329-1	3,00	5,44	16,32
m	Tubo de PVC liso, serie B, de 110mm de diámetro exterior y 3,2 mm de espesor, según UNE-EN-1329-1	1,00	3,73	3,73
u	Material auxiliar para instalaciones eléctricas	1,00	1,48	1,48
u	Caja de medida CPM2-S4	1,00	205,22	205,22
%	Costes Directos Complementarios	0,02	250,84	5,02
<b>Total</b>				<b>255,86</b>



## PRESUPUESTOS PARCIALES

### CASO 1

Tabla B.18: Presupuesto Parcial Capítulo 1, caso 1. Fuente: Propia.

U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
u	Módulos fotovoltaicos	100,00	197,69	19.769,03
u	Inversor Fronius Eco 27.0-3-S	1,00	3.428,84	3.428,84
u	Concentrador "Strings" STC5 AMB Green Power	2,00	322,64	645,28
u	Hornacina	1,00	264,59	264,59
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5mm <sup>2</sup>	103,00	2,97	306,22
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x2,5mm <sup>2</sup>	205,00	3,40	697,29
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x4mm <sup>2</sup>	4,00	4,15	16,60
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x16mm <sup>2</sup>	11,91	9,31	110,92
m	Cable Cu RV-K trifásico 0,6/1kV 1x70mm <sup>2</sup>	119,00	15,17	1.805,43
<b>Total</b>				<b>27.044,20</b>

Tabla B.19: Presupuesto Parcial Capítulo 2, caso 1. Fuente: Propia.

U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
u	Interruptor Automático Magnetotérmico S801C-K63	1,00	76,01	76,01
u	Equipo de medida CPM2-S4	1,00	255,86	255,86
<b>Total</b>				<b>331,87</b>

### CASO 2

Tabla B.20: Presupuesto Parcial Capítulo 1, caso 2. Fuente: Propia

U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
u	Módulos fotovoltaicos	150,00	197,69	29.653,54
u	Inversor Fronius Eco 27.0-3-S	1,00	3.428,84	3.428,84
u	Concentrador "Strings" STC5 AMB Green Power	3,00	322,64	967,93
u	Hornacina	1,00	264,59	264,59
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x1,5mm <sup>2</sup>	193,00	2,97	573,79
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x2,5mm <sup>2</sup>	196,00	3,40	666,67
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x4mm <sup>2</sup>	3,00	4,15	12,45
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 2x10mm <sup>2</sup>	8,00	6,72	53,77
m	Cable Cu RV-K monofásico 0,6/1kV 3x25mm <sup>2</sup>	19,00	17,93	340,76
m	Cable Cu RV-K trifásico 0,6/1kV 1x70mm <sup>2</sup>	119,00	15,17	1.805,43
<b>Total</b>				<b>35.621,58</b>

Tabla B.21: Presupuesto Parcial Capítulo 2, caso 2. Fuente: Propia.

U.M	Descripción unidad de obra	Medición	Precio (€)	Importe (€)
u	Interruptor Automático Magnetotérmico S801C-K63	1,00	76,01	76,01
u	Equipo de medida CPM2-S4	1,00	255,86	255,86
<b>Total</b>				<b>331,87</b>

## PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

### CASO 1

Tabla B.22: Presupuesto Ejecución Material, caso 1. Fuente: Propia.

Partida	Importe (€)
Instalación solar	27.044,20
Interconexión	331,87
<b>Total</b>	<b>27.376,07</b>

### CASO 2

Tabla B.23: Presupuesto Ejecución Material, caso 2. Fuente: Propia.

Partida	Importe (€)
Instalación solar	35.621,58
Interconexión	331,87
<b>Total</b>	<b>35.953,45</b>

## PRESUPUESTOS FINAL

### CASO 1

Tabla B.24: Presupuesto Final, caso 1. Fuente: Propia.

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	27.376,07
Gastos generales (12%)	3.285,13
Beneficio industrial (6%)	1.642,56
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN</b>	<b>32.303,77</b>
IVA (21%)	6.783,79
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>39.087,56</b>

*El Presupuesto FINAL del proyecto material asciende a la cantidad de TREINTA Y NUEVE MIL OCHENTA Y SIETE EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CENTÉSIMAS.*

### CASO 2

Tabla B.25: Presupuesto Final, caso 2. Fuente: Propia.

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	35.953,45
Gastos generales (12%)	4.314,41
Beneficio industrial (6%)	2.157,21
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN</b>	<b>42.425,08</b>
IVA (21%)	8.909,27
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>51.334,34</b>

*El Presupuesto FINAL del proyecto material asciende a la cantidad de CINCUENTA Y UN MIL TRESCIENTOS TREINTA Y CUATRO EUROS CON TREINTA Y CUATRO CENTÉSIMAS.*



Estudio técnico y de viabilidad económica de dos opciones de instalación fotovoltaica de 33kW y 49,5kW, para cubrir las necesidades de consumo de un colegio de la población de Godella.

