



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

INGENERIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**Diseño e instalación de una planta solar
fotovoltaica de 100kW para autoconsumo de
una nave industrial**

Alumno: Oscar Rodriguez Morao

Director: María José Terron López

JUNIO 2023

Resumen

Este trabajo proporciona una visión completa y detallada de una instalación fotovoltaica de autoconsumo de 100 kW, incluyendo aspectos técnicos, análisis estructural, diseño óptimo y consideraciones económicas. El objetivo principal es utilizar la energía solar para satisfacer la demanda energética de una nave industrial, el estudio se centró en la descripción detallada de los componentes del sistema, que incluían módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras de soporte, contadores, protecciones y cableado.

En el desarrollo del trabajo se llevó a cabo el diseño y optimización de la estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos, comprobado mediante un análisis de elementos finitos, demostrando que la estructura soporta y cumple perfectamente con las condiciones ambientales y las cargas a la que estaría expuesta.

A continuación, se realizaron los cálculos necesarios para justificar la instalación, incluyendo la determinación de la inclinación de los paneles, la distancia mínima entre filas, las secciones de cable, la protección eléctrica y las pérdidas debidas a la orientación y la inclinación. Además, se estimó la producción energética prevista. Para concluir, se presentó un detallado pliego de condiciones que describía los aspectos clave de la ejecución del proyecto y evaluaba el presupuesto y la viabilidad de la instalación.

Palabras clave: autoconsumo, diseño, estructura, normativas, planta solar

Abstract

This work provides a complete and detailed overview of a 100 kW self-consumption photovoltaic system, including technical aspects, structural analysis, optimal design and economic considerations. The main objective is to use solar energy to meet the energy demand of an industrial building, the study focused on the detailed description of the system components, which included photovoltaic modules, inverters, support structures, meters, protections and wiring.

In the development of the work, the design and optimization of the support structure of the photovoltaic panels was carried out, verified by means of a finite element analysis, demonstrating that the structure supports and complies perfectly with the environmental conditions and the loads to which it would be exposed.

Next, the necessary calculations were performed to justify the installation, including the determination of the inclination of the panels, the minimum distance between rows, the cable sections, the electrical protection and the losses due to orientation and inclination. In addition, the expected energy production was estimated. To conclude, detailed specifications were presented describing the key aspects of the project execution and assessing the budget and viability of the installation.

Key words: self-consumption, design, structure, regulations, solar plant

Índice	
Resumen	2
Abstract	2
Índice de Figuras	6
Índice de tablas	8
Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Objetivos y alcance.	9
1.2 Antecedentes.	10
1.3 Emplazamiento	10
Capítulo 2. Descripción de una instalación fotovoltaica.	12
2.1 Energía solar	12
2.2 Descripción del sistema.	13
2.4 Descripción de los componentes del sistema	16
2.4.1 Modulo fotovoltaico Canadian Solar de 475 Wp.	17
2.4.2 Inversor fotovoltaico Huawei SUN2000 100KTL-M1	17
2.4.3 Estructura	18
2.4.4 Contadores, protecciones y cableado.	19
2.4.5 Puesta a tierra.	22
2.4.6 Cableado	22
2.5 Conclusiones.	24
Capítulo 3. La resistencia y comportamiento de los materiales: Mecánica de los sólidos.	25
3.1 Fuerza internas de un material.	25
3.2 Deformación	25
3.3 Tipo de cargas y apoyos	26
3.4 Análisis de Von Mises	28
Capítulo 4. Método de elementos finitos.	30
4.1 Fundamento principal	30
4.2 Procedimiento.	30
4.3 Formulas y ecuaciones relevantes	31
Capítulo 5. Diseño y optimización de la estructura para paneles fotovoltaicos. ... 35	
5.1 Consideraciones previas.	35
5.1.1 Panel Solar	35
5.1.2 Distribución de paneles	35
5.1.3 Tipo de cubierta	36
5.1.3 Fuerzas y cargas presentes	37
5.2 Diseño de la estructura.	39

5.2.1 Patas de soporte.....	40
5.2.2 Grapa intermedia.....	42
5.2.3 Grapa final.....	43
5.2.4 Perfil viga de soporte.....	44
5.2.4 Placa soporte al perfil.....	45
5.2.5 Salva Greca.....	45
5.3 Piezas estandarizadas.....	46
5.3.1 Tornillo DIN 912.....	46
5.3.2 Tornillo DIN 7504-K.....	46
5.3.3 Arandela DIN 125 ISO 7089.....	46
5.3.4 Tuerca hexagonal DIN 934.....	46
5.4 Subconjuntos de la estructura.....	47
5.4.1 Patas de apoyo.....	47
5.4.2 Perfil y patas de soporte.....	51
5.4.3 Ensamblaje grapa intermedia y final coplanar.....	52
5.4.3 Perfil y salva greca.....	55
5.4.4 Anclaje a la chapa.....	56
5.4.5 Disposición del panel.....	57
5.5 Diseño final.....	59
Capítulo 6. Análisis y justificación de cálculos para la instalación.....	61
6.1 Inclinación de los paneles solares.....	61
6.2 Distancia mínima entre filas de modulo.....	62
6.3 Secciones de cableado.....	63
6.3.1 Tramo Corriente continua.....	63
6.3.2 Tramo Corriente alterna.....	67
6.4 Protecciones eléctricas.....	68
6.5 Calculo perdidas por orientación e inclinación.....	69
6.6 Producción estimada de energía.....	70
6.7 Determinación de las cargas sobre la estructura.....	74
6.8 Análisis de los componentes de la estructura.....	80
6.8.1 Espesor óptimo de la estructura.....	80
6.8.2 Simulación pata delantera.....	83
6.8.3 Subensamblaje pata delantera.....	85
6.8.4 Ensamblaje de la estructura final.....	88
Capítulo 7. Pliego de Condiciones.....	91
7.1 Consideraciones iniciales.....	91
7.2 Descripción de la obra.....	93

7.3 Ejecución de la Obra.....	94
7.3.1 Principios fundamentales.....	94
7.3.2 Estructura de los paneles	95
7.3.3 Canalizaciones y cableado.....	96
7.3.4 Protecciones.....	96
7.3.5 Conexión a red.....	96
7.4 Pagos y mediciones.....	97
7.5 Garantías.....	98
Capítulo 8. Presupuesto y rentabilidad de la instalación.....	99
8.1 Presupuesto.....	99
8.2 Rentabilidad y amortización.....	101
Conclusiones.....	105
Bibliografía.....	106
Planos.....	117

Índice de Figuras.

Figura 1. Situación de la parcela.....	10
Figura 2. Situación nave industrial	11
Figura 3. Sistema solar de autoconsumo (Prieto, 2013).....	14
Figura 4. Panel solar Canadian Solar (DATASHEET Canadian Solar HiKuPro CS3Y-MS, s. f.)	17
Figura 6. Estructura paneles inclinada.	18
Figura 5. Estructura paneles coplanar	18
Figura 7. Grapa intermedia	19
Figura 8. Grapa final.	19
Figura 9. Interruptor magnetotérmico tetrapolar (Interruptor magnetotérmico, Schneider Electric España, s. f.).....	20
Figura 10. Interruptor diferencial tetrapolar (Interruptor diferencial; Acti9 iLD; 4P; 300mA AC Schneider Electric España, s. f.)	20
Figura 11. Interruptor automático ComPacT	21
Figura 12. Fuerzas internas («ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS», 2010)	25
Figura 13. Deformación angular y longitudinal. ((A) Deformación Longitudinal (b) Deformación Por Cortante, s. f.)	26
Figura 14 Apoyo empotrado (IngMario, 2014).....	27
Figura 15 Apoyo articulado (8.- Apoyos y enlaces entre elementos estructurales., s. f.)	28
Figura 16 Apoyo móvil (8.- Apoyos y enlaces entre elementos estructurales., s. f.)	28
Figura 17 Análisis Von Mises (Teoría Del Esfuerzo Cortante Máximo, s. f.).....	29
Figura 18 Deformación en elemento diferencial (MECAPEDIA • Deformación transversal unitaria, s. f.).....	32
Figura 19 Cubierta de Chapa metálica.....	37
Figura 20. Vector del peso propio	38
Figura 21. Vector Sobrecarga del Viento	39
Figura 22. Vector sobrecarga de nieve	39
Figura 23. Diseño de la pata trasera	41
Figura 24. Diseño pata delantera	41
Figura 25. Dimensiones para inclinación 25°	42
Figura 26. Diseño grapa intermedia	43
Figura 27. Grapa final	43
Figura 28. Diseño del perfil	44
Figura 29. Diseño placa de agarre	45
Figura 30. Diseño de salva greca	45
Figura 31. Ensamblaje pata trasera	48
Figura 32. Vista trasera ensamblaje pata trasera.....	49
Figura 33. Vista lateral patas delanteras	50
Figura 34. Vista isométrica de la pata delantera	50
Figura 35. Ensamblaje perfil y pata soporte	51
Figura 36. Vista isométrica perfil y patas soporte.....	52
Figura 38. Detalle ensamblaje grapa final coplanar	53
Figura 37. Vista lateral ensamblaje grapa final coplanar	53
Figura 39. Detalle ensamblaje grapa intermedia coplanar	54
Figura 40. Vista lateral ensamblaje grapa intermedia coplanar	54
Figura 41. Ensamblaje perfil y salva greca.....	55
Figura 42. Vista alzada perfil y salva greca.....	55
Figura 43. Ensamble anclaje a la chapa	56
Figura 44. Detalle de ensamblaje del anclaje	57
Figura 45. Subensamblaje panel, perfil y soportes.....	57

Figura 46. Disposición final de panel inclinado.....	58
Figura 47. Vista lateral de un panel coplanar	58
Figura 48. Disposición final panel coplanar	58
Figura 49. Ensamblaje final coplanar	59
Figura 50. Vista lateral ensamblaje final inclinado.....	59
Figura 51. Ensamblaje final panel inclinado	60
Figura 52. Disposiciones de los paneles inclinados	60
Figura 53. Tabla ITC corriente admisible (Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, Reglamento electrotécnico para baja tensión, 2002)	69
Figura 54. Inclinación y orientación paneles	70
Figura 55. Irradiación mensual que recibe el campo 1	71
Figura 56. Producción de energía mensual campo 1	72
Figura 57. Producción de energía mensual campo 2	72
Figura 58. Irradiación que recibe el campo 2	73
Figura 59. Irradiancia total del campo completo.....	73
Figura 60. Producción de Energía del campo completo	74
Figura 61. Vector presión por peso propio	75
Figura 62. Velocidad del viento segun la zona (DBSE-AE, s. f.)	76
Figura 63. Coeficiente de exposición (DBSE-AE, s. f.).....	76
Figura 64. Marquesina a un agua CTE (DBSE-AE, s. f.).....	77
Figura 65. Coeficiente de presión (DBSE-AE, s. f.).....	77
Figura 66. Vector presión del viento.....	78
Figura 67. Zona climáticas de invierno (DBSE-AE, s. f.)	79
Figura 68. Sobrecarga de nieve en un terreno (DBSE-AE, s. f.)	79
Figura 69. Vector sobrecarga de nieve	80
Figura 70. Definición de las fuerzas de la patas traseras	81
Figura 72. Deformación pata trasera 8mm.....	82
Figura 71. Tensión von-mises pata trasera 8mm	82
Figura 73. Factor de seguridad pata trasera 8mm	83
Figura 74. Fuerzas en la pata delanteras.....	83
Figura 75. Tensión Von-Mises pata delantera.....	84
Figura 76. Deformación pata delantera.....	84
Figura 77. Factor de seguridad pata delantera.....	85
Figura 78. Deformación subensamblaje pata trasera	86
Figura 79. Factor seguridad subensamblaje pata trasera	87
Figura 80. Tensión Von-Mises subensamblaje pata trasera.....	87
Figura 81. Deformación ensamblaje final.....	89
Figura 82. Tensión Von-Mises ensamblaje final.....	89
Figura 83. Detalle tensión Von-Mises ensamblaje final.....	90
Figura 84. Factor seguridad ensamblaje final	90
Figura 85. Gráfico de retorno de la inversión	103

Índice de tablas

Tabla 1. Componente de la obra.....	16
Tabla 2. Coeficientes "k"	62
Tabla 3. Distancias mínima según inclinación.....	63
Tabla 4. Caída de tensión entre paneles.....	65
Tabla 5. Caída de tensión desde la rama a la caja de string	65
Tabla 6. Caída de tensión unión de ramas.....	66
Tabla 7. Caída de tensión caja de protección al inversor	66
Tabla 8. Caída de tensión total	67
Tabla 9. Datos de los campos fotovoltaicos	71
Tabla 10. Comparativa espesores	81
Tabla 11. Piezas y materiales subensamblaje pata delantera.....	85
Tabla 12. Iteración mallado ensamblaje pata trasera	86
Tabla 13. Piezas y materiales ensamblaje final.....	88
Tabla 14. Iteración mallado ensamblaje final.	88
Tabla 15. Presupuesto material fotovoltaicos.....	99
Tabla 16. Presupuesto material eléctrico	100
Tabla 17. Presupuesto mano obra	100
Tabla 18. Presupuesto registro y legalización	100
Tabla 19. Presupuesto total	101
Tabla 20. Datos económicos de la instalación.	101
Tabla 21. Flujo de caja.....	102
Tabla 22. Valores de los indicadores económicos	103

Capítulo 1. Introducción

En los últimos años, por el aumento de la demanda energética el uso de una energía más limpia para el entorno se ha priorizado, convirtiendo la energía solar en una de las formas más comunes de abastecimiento de energía. La energía solar se ha convertido en una opción viable para muchas personas y empresas como una solución para satisfacer sus necesidades energéticas. Este proyecto se centra en la instalación de una planta fotovoltaica de autoconsumo de 100 kW en una nave industrial para satisfacer las necesidades energéticas de una empresa. Se va a diseñar para generar energía solar suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la empresa explicando los pasos necesarios para diseñar, instalar y operar la planta fotovoltaica de autoconsumo de 100 kW con éxito discutiendo también los beneficios que obtendrá la empresa al instalar esta.

1.1 Objetivos y alcance.

El objetivo principal del proyecto es instalar un sistema de autoconsumo fotovoltaico de 100 kW. Esto significa que el sistema estará diseñado para generar energía eléctrica a partir de la luz solar, y que esta energía se utilizará directamente en el lugar donde esté instalado el sistema. Como resultado, el usuario dispondrá de un suministro energético limpio, eficiente y rentable.

El objetivo principal de la instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo es reducir los costes de la factura eléctrica. Esto se consigue generando electricidad en el mismo lugar donde se utiliza, evitando así los costes de transmisión y distribución de electricidad desde una central eléctrica a una red eléctrica local y, finalmente, al usuario final. Además, el uso de la energía solar elimina la necesidad de combustibles fósiles y contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como objetivo específico, se mencionarán la descripción y los cálculos necesarios para la construcción de las instalaciones y la conexión a la red eléctrica. Esto significa que se llevarán a cabo una serie de tareas técnicas para garantizar que el sistema se instala de forma segura y eficiente, y que se conecta correctamente a la red eléctrica local.

Se incluirá la descripción y el diseño de la estructura para los paneles, así como los cálculos necesarios para cumplir los requisitos legales y de seguridad. Esto significa que se diseñará una estructura segura para soportar los paneles solares, de acuerdo con los requisitos legales y de seguridad establecidos en el Código de la Edificación español.

1.2 Antecedentes.

Los antecedentes del proyecto se basan en el uso de energía solar en la industria. A nivel mundial son cada vez más las empresas e industrias que están instalando sistemas solares para producir su energía, esto se debe a la necesidad de reducir los costos de energía y la necesidad de contribuir a la reducción de emisiones de CO₂.

El proyecto estudiará diferentes factores claves para el diseño de una instalación solar fotovoltaica. Estos factores incluyen, pero no se limitan a, el sitio de la instalación, el tipo de paneles solares, los sistemas de almacenamiento de energía y los sistemas de control de la instalación para optimizar la producción de energía.

Esta instalación solar se diseñará para satisfacer las necesidades energéticas de la nave industrial. Se considerarán los factores como el tipo de tecnología, el tamaño de los paneles solares, la ubicación de la instalación, los requerimientos de almacenamiento de energía, los requerimientos de control de la instalación y los requerimientos de mantenimiento.

1.3 Emplazamiento

La obra para el campo fotovoltaica que se instalará estará ubicada en una nave industrial en el municipio de Villacastín, Segovia. La conexión se realizará en la parcela del polígono industrial Valdeherra 17E.

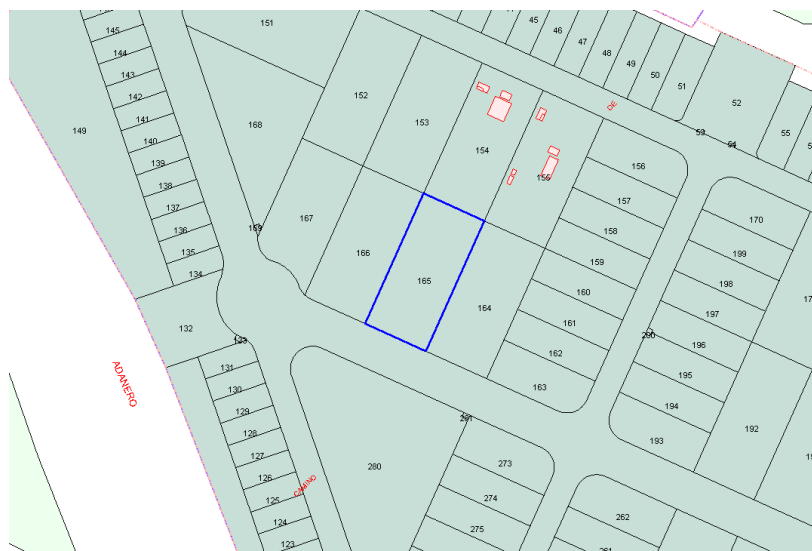


Figura 1. Situación de la parcela

En total la superficie de la parcela es de 3.420 m², de la cual tiene una superficie construida de 1.348 m² correspondiente a la nave auxiliar



Figura 2. Situación nave industrial

Capítulo 2. Descripción de una instalación fotovoltaica.

En este apartado se explicará el ámbito de la ingeniería solar, más concretamente la fotovoltaica. Se detalla la investigación que se ha llevado a cabo para comprender los conceptos básicos de la energía solar, los diferentes tipos de radiación, la captación de esta energía y los elementos necesarios para un sistema fotovoltaico.

2.1 Energía solar.

La energía solar es la radiación electromagnética procedente del Sol, que se puede transformar en energía eléctrica y térmica mediante diferentes tecnologías. Esta es una fuente de energía renovable y respetuosa con el medio ambiente que no produce emisiones de gases de efecto invernadero. La cantidad de energía solar que recibe una superficie determinada depende de la latitud, la situación atmosférica y la hora del día (*Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual*, s. f.). El estudio de la radiación solar es fundamental para conocer la energía disponible y evaluar el comportamiento de los sistemas de aprovechamiento. Un sistema fotovoltaico aprovecha la energía solar para generar electricidad a través del efecto fotoeléctrico. La mejor forma de obtener un buen rendimiento es que la superficie receptora esté orientada perpendicularmente a la luz incidente. En ocasiones, podría ser conveniente instalar un sistema de seguimiento electrónico, sin embargo, en la mayoría de los casos no sería rentable (*Energía solar fotovoltaica y térmica*, 2021) (Alonso, 2018)

Conceptos importantes:

- **Irradiación:** Cantidad de energía emitida por el Sol durante un período de tiempo específico por unidad de superficie [Wh/m^2]. («Irradiación solar», 2023)
- **Irradiancia:** Potencia instantánea emitida por el Sol por unidad de superficie durante un día [$\text{Wh/m}^2\text{día}$].
- **Radiación Directa** es la cantidad de luz solar por unidad de tiempo y unidad de área que incide sobre una superficie sin sufrir ninguna modificación en su trayectoria.
- **Radiación Difusa** es la cantidad de luz solar por unidad de tiempo y área que incide sobre una superficie procedente de toda la bóveda celeste, debido a la dispersión atmosférica, excepto la procedente del disco solar.
- **El Albedo** es la cantidad de luz solar por unidad de tiempo y unidad de área que incide sobre una superficie, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos. (*Medición de la Radiación Solar | PVEducation*, s. f.) (*tema-2-celdas-fotovoltaicas.pdf*, s. f.) (*Irradiación solar - ECyT-ar*, s. f.)

2.2 Descripción del sistema.

La instalación de autoconsumo estará dentro de los límites legales establecidos y cumplirá con las normativas vigentes. Cuando la radiación solar sea suficiente, abastecerá el consumo interno y suministrará la energía excedente a la red pública. Si la radiación solar es insuficiente o el consumo es alto, el sistema proporcionará energía al consumo interno y recibirá energía adicional de la red.

Para respetar los requisitos legales, se instalará un contador bidireccional para registrar la producción del sistema fotovoltaico y los consumos de este. La instalación de la planta solar de autoconsumo es planteada como una inversión a largo plazo, para reducir los costos de la factura de la electricidad de forma considerable (IBERDROLA, s. f.). Esto permite que sea una inversión que tenga un tiempo de amortización más reducido, donde depende principalmente de dos factores:

- Potencia pico de la instalación: Potencia máxima que genera el conjunto de paneles solares instalados teniendo en cuenta factores como son inclinación, latitud, orientación, sombreado y zona geográfica.
- Potencia nominal de la instalación: el costo de la energía está relacionado con la potencia nominal de la planta, que se determina al sumar las potencias nominales de los inversores instalados. («Potencia pico y potencia nominal, no son lo mismo», 2023) (*Diferencias entre la potencia pico y potencia nominal, 2023*)

Con la instalación de varios inversores con generadores individuales permite una operación sin interferencias en el sistema, brindando modularidad en la potencia nominal, capacidad de ampliación y adaptabilidad, maximizando el potencial de las instalaciones. (*Inversor Fotovoltaico, s. f.*)

Por lo tanto, las principales tecnologías de inversor en el mercado son:

- Inversores de única rama: inversores monofásicos, para instalaciones de bajo voltaje, con una potencia unitaria máxima de 10kW
- Inversores multi rama: trifásicos, inversores de alto voltaje por lo que se usa para mediana y gran potencia con una potencia unitaria mayor a 5 KW. (*Inversor Fotovoltaico, s. f.*)

La *Figura 3* muestra un diagrama simplificado de un sistema solar de autoconsumo que utiliza la energía solar para satisfacer las necesidades eléctricas de una vivienda. Este sistema está formado por varios componentes clave que trabajan juntos para generar electricidad limpia y renovable.

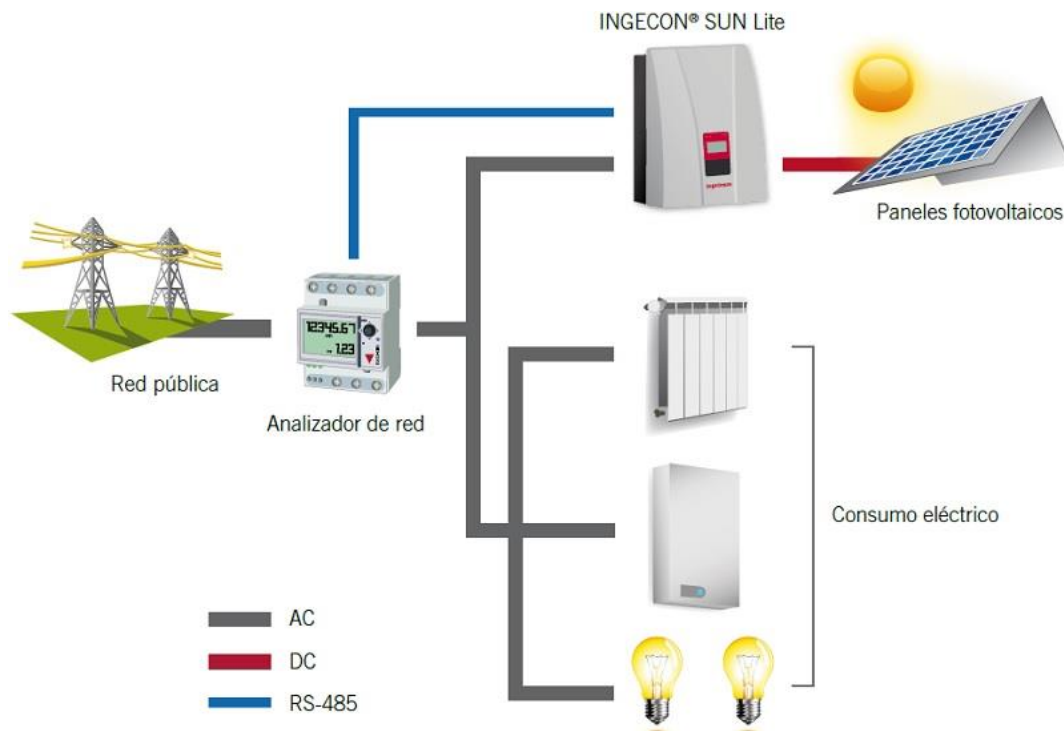


Figura 3. Sistema solar de autoconsumo (Prieto, 2013)

2.3 Normativa legal para la energía fotovoltaica

En el proyecto técnico que se presenta se cumplirán las recomendaciones establecidas en la Normativa siguiente:

- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. (BOE, n. 83, de 6 de abril, 2019)
- Real Decreto Ley 15/18, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. (BOE, n. 242, de 6 de octubre de 2018)
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. (BOE, n. 224, de 18 de septiembre de 2007)
- Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. (BOE, n. 243, de 10 de octubre de 2015)
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- RD 1.578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de

- producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica, para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del RD 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología. (BOE, n. 234, de 27 de septiembre de 2008)
- RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. (BOE, n. 126, de 26 de mayo del 2007)
 - RD 1663-2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión. (BOE, n. 235, de 30 de septiembre del 2000)
 - RD 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrónico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias ITC BT 01 a 051. (BOE, n. 224, de 18 de septiembre del 2002)
 - RD 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. (BOE, n. 310, de 27 de diciembre del 2000)
 - Código Técnico de la Edificación, CTE.
 - Especificaciones técnicas de la compañía eléctrica distribuidora.
 - UNE-EN 61643-31:2021. Dispositivos de protección contra sobretensiones de baja tensión. Parte 31: Requisitos y métodos de ensayo de los DPS para instalaciones fotovoltaicas.
 - Vigente/2021-03-31
 - UNE-CLC/TS 51643-32:2020. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 32: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados al lado de la corriente continua de las instalaciones fotovoltaicas. Principios de selección y aplicación. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en octubre de 2020.)
 - Vigente/2020-10-01
 - UNE-EN IEC 63202-1:2020. Células fotovoltaicas. Parte 1: Medida de la degradación inducida por luz de células fotovoltaicas de silicio cristalino.

- Vigente/2020-09-30
 - UNE-HD 60364-7-712:2017. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 7-712: Requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación solar fotovoltaica (FV).
 - Vigente/2017-02-15
 - UNE-EN 60269-6:2012. Fusibles de baja tensión. Parte 6: Requisitos suplementarios para los cartuchos fusibles utilizados para la protección de sistemas de energía solar fotovoltaica.
 - Vigente/2012-02-22
 - UNE-EN 62920:2018/A11:2021. Sistemas de generación de energía fotovoltaica. Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) y métodos de ensayo para equipos de conversión de potencia.
 - Vigente/2021-06-09
 - UNE-EN IEC 62790:2021. Cajas de conexión para módulos fotovoltaicos. Requisitos de seguridad y ensayos.
 - Vigente/2021-07-28
 - UNE-EN IEC 61215-2:2021. Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación. Parte 2: Procedimientos de ensayo.
 - Vigente/2021-09-22

(Normativa de Autoconsumo | Idae, s. f.) (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Autoconsumo de energía eléctrica, s. f.)

2.4 Descripción de los componentes del sistema

Los componentes principales que se instalarán se verán en la *Tabla 1*

<i>Descripción</i>
215 Módulo fotovoltaico Canadian Solar de 475 Wp
Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1
Estructura soporte fija para 215 paneles
Kit de instalación: cableado, cajas de conexiones,

Tabla 1. Componente de la obra

2.4.1 Modulo fotovoltaico Canadian Solar de 475 Wp.

El panel solar Canadian Solar CS3Y-475MS, es un módulo monocristalino de 156 células, cuentan con las certificaciones exigidas por la unión europea que fueron descritas previamente, las características a destacar de estos módulos serían los siguientes:

- Eficiencia
- Tolerancia positiva de hasta un 5% (+5%)
- Garantía de producción de 25 años con un 80,5%
- Garantía de producto de 10 años
- Monocristalino, con tecnología PERC (Passivated Emmitter Rear Contact)
- Resistencia mecánica de carga de nieve 5400 Pascal
- Resistencia mecánica de carga de viento 2400 Pascal



*Figura 4. Panel solar Canadian Solar (DATASHEET
Canadian Solar HiKuPro CS3Y-MS, s. f.)*

2.4.2 Inversor fotovoltaico Huawei SUN2000 100KTL-M1

La nueva generación de los inversores Huawei es idónea para proyectos de mediana y gran escala. Con un diseño compacto para su potencia, asegurando proveer con una eficiencia bastante de alta de un 98%.

Características principales del Inversor SUN2000 100KTL-M1 serian:

- Protección IP66
- Protección AC/DC contra sobretensiones
- Potencia máxima aparente de CA de 110.000VA
- 10 MPPT para una buena adaptación a las necesidades de la instalación
- Voltaje máximo de CC de 1.100V
- Monitorización inteligente en todos los MPPTs

- Máxima eficiencia de 98,6% a 400Vac

2.4.3 Estructura

- Estructura para paneles.

La estructura soporte para los módulos fotovoltaicos es una estructura diseñada para soportar velocidades de viento de hasta 150 km/h y acumulaciones de nieve según la normativa NBE-MV105, compuesta por perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable para asegurar un buen contacto. Esta estructura es clave para garantizar un buen anclaje del generador solar, proporcionando la orientación y el ángulo de inclinación adecuados para una mejor captación de la luz solar.

La estructura para utilizar será diferente en función del estado del campo, para el campo 1 se emplea una estructura coplanar para aprovechar la fachada sureste que tiene la nave industrial (*Figura 5*). Para el campo 2 una estructura con inclinación de 25° sobre la fachada con orientación oeste para obtener una orientación óptima de los paneles (*Figura 6*).

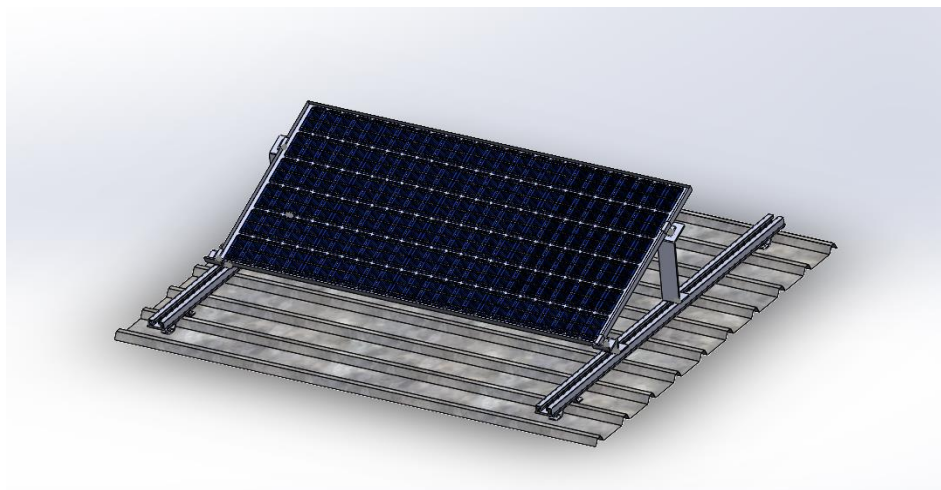


Figura 6. Estructura paneles inclinada.

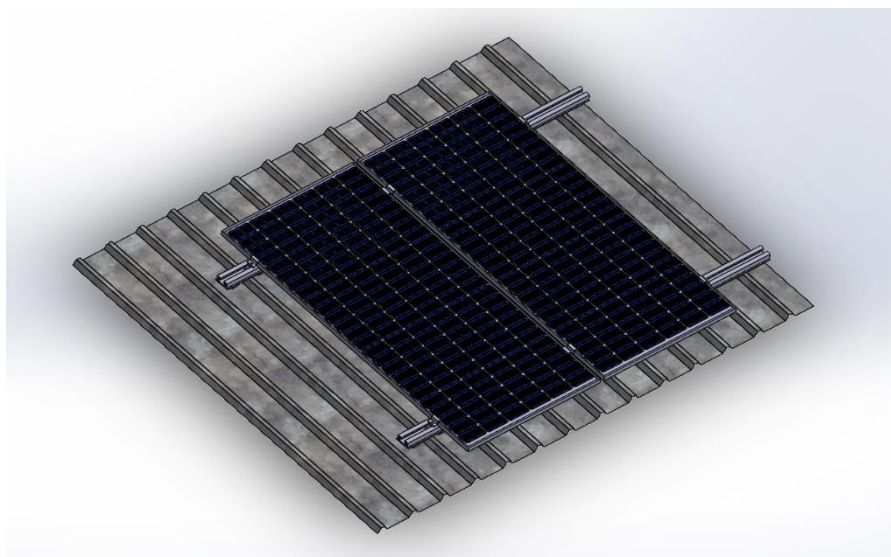


Figura 5. Estructura paneles coplanar

- Grapas

Existen de 2 tipos:

- Intermedias: Que fijarán dos paneles, y que se colocarán entre paneles.

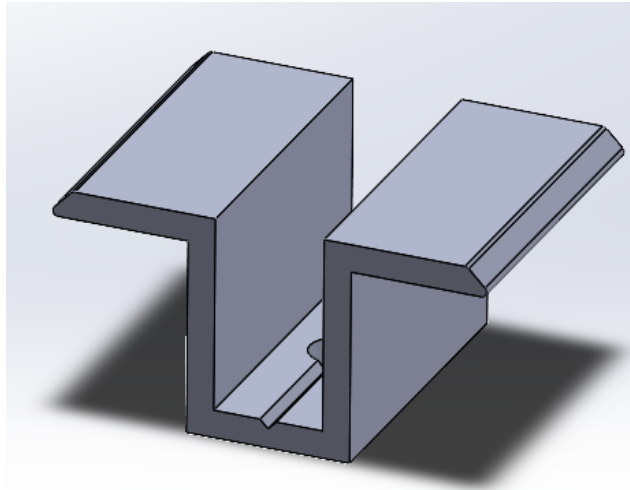


Figura 7. Grapa intermedia

- Finales: Que fijarán un solo panel, y se utilizarán al final de cada fila

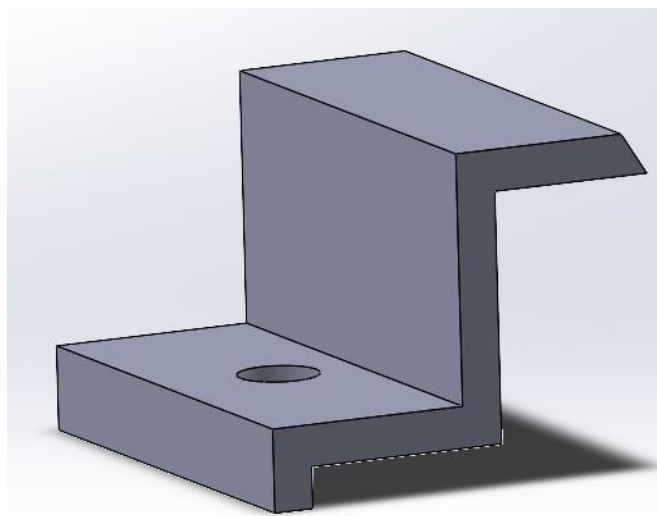


Figura 8. Grapa final.

2.4.4 Contadores, protecciones y cableado.

Esta instalación se ajusta a los requisitos establecidos por el Real Decreto 1699/2011, que regula la conexión a red de instalaciones fotovoltaicas de baja potencia. Estas instalaciones cumplen los requisitos para garantizar su seguridad y eficiencia, como la protección contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y el uso de equipos homologados y certificados.

La planta solar diseñada contara con los siguientes elementos:

- a) **Interruptor general manual:** interruptor magnetotérmico, es un dispositivo de protección eléctrica que detecta corrientes de cortocircuito excesivas y desconecta la alimentación para evitar daños en el sistema eléctrico. Cuando la intensidad de corriente alcanza un nivel superior al establecido por la empresa distribuidora en el punto de conexión, el interruptor magnetotérmico activa un interruptor que desconecta la alimentación.



Figura 9. Interruptor magnetotérmico tetrapolar (Interruptor magnetotérmico, Schneider Electric España, s. f.)

- b) **Interruptor automático diferencial:** es un dispositivo de protección eléctrica que se utiliza para detectar y desconectar la corriente en caso de una fuga de corriente o una diferencia anormal entre los conductores de entrada y salida. Proporciona protección contra descargas eléctricas y ayuda a prevenir el daño a la instalación fotovoltaica. Si se detecta una variación anormal, el interruptor automático diferencial se desconectará automáticamente para evitar daños mayores a los equipos.



Figura 10. Interruptor diferencial tetrapolar (Interruptor diferencial; Acti9 iID; 4P; 300mA AC | Schneider Electric España, s. f.)

- c) **Interruptor automático:** dispositivo de protección eléctrica que se utiliza para interrumpir el circuito cuando se detecta una sobrecarga o un cortocircuito. Evitando daños a los componentes eléctricos y a los usuarios. En la instalación, el interruptor automático se usa para proteger el inversor de sobrecargas o cortocircuitos.
- d) **Interruptor automático de interconexión:** dispositivo utilizado para conectar y desconectar la red eléctrica de un sistema de energía solar. Está controlado por software y está equipado con un controlador permanente de aislamiento, un aislamiento galvánico y una protección de funcionamiento en isla, todos incluidos en el inversor. El interruptor está vigilado por un controlador de tensión y frecuencia de la red eléctrica. Esta vigilancia asegura que la frecuencia y la tensión de la red eléctrica se mantengan dentro de los límites permitidos entre 48 y 50,5 Hz para la frecuencia y entre 0,85 y 1,15 veces la tensión nominal para la tensión.



*Figura 11. Interruptor automático ComPacT
(Interruptor automático ComPacT NSXm | Schneider Electric España, s. f.)*

El inversor incluye un interruptor de circuito en la parte de continua para proteger contra posibles contactos indirectos, que actúa como un sustituto de los fusibles. También se incluye un aislamiento de clase II en todos los componentes de la instalación, como los módulos, el cableado, las cajas de conexión, etc. Para proteger contra sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas, se incorporan varistores entre el positivo-tierra y el negativo-tierra del generador fotovoltaico, también una protección contra sobretensiones AC tipo II en el lado de corriente alterna del inversor.

Con el objetivo de aumentar la eficiencia energética y garantizar la seguridad de los trabajadores, se cumplirán los siguientes requisitos adicionales: Los equipos al aire libre tendrán un grado de protección IP65 mínimo y los equipos interiores tendrán un grado de protección IP21. Todos los cables cumplirán con los requisitos del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y los requisitos técnicos de la compañía eléctrica que opera en la región. Los cables deben ser

adecuados para uso al aire libre o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123-1:2017. Los marcos de los módulos y las estructuras soporte se conectarán a la tierra siguiendo los requisitos legales para este tipo de instalaciones, sin alterar la configuración de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora (*Inversor Fotovoltaico - Conceptos Básicos*, 2019) (Heras, 2020)

2.4.5 Puesta a tierra.

El Real Decreto 1699/2011 establece que las instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia deben conectarse a una única toma de tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora. Esta toma de tierra se conectará directamente a la barra principal de tierra del edificio, y se colocará una toma de tierra adicional si la distancia desde el campo de paneles es demasiado grande. El conductor de protección deberá tener una sección mínima igual a la del conductor de fase correspondiente, como se especifica en el ITC-BT-18.

2.4.6 Cableado

Todos los conductores deben cumplir con las especificaciones establecidas por el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y las exigencias técnicas de la compañía eléctrica que opera en el área. Los cables deben ser apropiados para uso al aire libre, enterrados o bajo condiciones climáticas extremas, de acuerdo con la norma UNE 21123.

Tramo CA

Se usará un cable de cobre flexible de clase 5 con aislamiento de polifonía termoplástica libre de halógenos y una tensión de servicio de 0,6/1 kV. Estos cables serán no propagadores de incendio y tendrán una emisión de humos y opacidad reducida, cumpliendo con la norma UNE 21102. La sección de los conductores será suficiente para que la caída de tensión sea menor al 1,5%, teniendo en cuenta la corriente máxima que transportan aumentada en un 25%. Los cálculos se harán para cada salida del inversor y para la cantidad total de potencia hasta el contador.

Tramo CC

Se utilizará cable de cobre flexible clase 5 con aislamiento XLPE de polietileno reticulado y una tensión de servicio de 0,6/1kV. Está diseñado para ser no propagador de incendio con emisión de humos y opacidad reducida, de acuerdo con la norma UNE 21123-1:2017. El cable específico para instalaciones fotovoltaicas también es apto para esto. Los conductores tendrán una sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior al 1,5%. Para los paneles se utilizará un conductor unipolar de 4 mm² de 0,9 m de longitud. Si hay empalmes entre filas, se utilizará un conductor de 4 mm² o de mayor sección, según sea necesario. Para los extremos de las ramas al inversor, se utilizará un conductor unipolar de 6 mm².

(UNE 21123-1:2017 *Cables eléctricos de utilización industrial*, s. f.)

2.4.7 Protecciones eléctricas de la instalación.

1) Tramo de corriente continua.

Sobretensiones:

Un generador fotovoltaico puede ser susceptible a sobretensiones atmosféricas significativas. Para proteger la entrada de corriente continua del inversor, se instalará un dispositivo de protección de clase II que esté integrado en el inversor. Esta es una característica común para la mayoría de los equipos conectados a la red eléctrica («Protección contra sobretensiones para sistemas fotovoltaicos Dispositivo de protección contra sobretensiones CC», 2018)

Contactos directos e indirectos:

El generador fotovoltaico se conectará suspendido en la pared para garantizar el nivel de seguridad frente a contactos directos e indirectos. El aislamiento de clase II se utilizará en los módulos fotovoltaicos, cables y cajas de conexión. Además, se instalará un controlador de aislamiento integrado en el inversor para detectar la aparición de derivaciones a tierra. En caso de que se presente un primer defecto a masas o a tierra, el inversor se detendrá y se activará una alarma visual en el equipo.

2) Tramo de corriente alterna.

El interruptor automático magnetotérmico es un dispositivo de seguridad que se encarga de proteger el circuito eléctrico de sobrecargas, cortocircuitos o descargas atmosféricas. Está compuesto por una bobina que alimenta un circuito magnético, el cual activa un contacto que corta la energía eléctrica, desactivando el circuito. El dispositivo seleccionado es un magnetotérmico tetrapolar de 160A de poder de corte de 40kA y con una tensión máxima de empleo de 400VCA o superior.

Por otro lado, se utilizarán relés diferenciales para proteger de derivaciones en este circuito. El relé diferencial es un dispositivo de protección que se encarga de detectar corrientes residuales en los circuitos. Está compuesto por una bobina que alimenta un circuito magnético, el cual activa un contacto que corta la energía eléctrica si detecta corrientes residuales. El dispositivo seleccionado es un relé diferencial de 300mA de sensibilidad y de tensión de funcionamiento entre fases de 85 a 500V y clase A.

El inversor de la instalación está diseñado para inyectar una corriente máxima de 144,93A. Esto requiere que se utilice un cable con una sección de al menos 70 mm², de acuerdo con la normativa REB ITC-19. Esto garantiza que el cable pueda soportar la corriente máxima sin sobrecalentarse.

2.4.8 Protecciones de la calidad del suministro.

En la ITC-BT-40 se especifican algunas características relacionadas con la calidad de la energía inyectada a la red en instalaciones generadoras. Estos requisitos se especifican con más detalle en el RD 1663/2000, incluyendo un interruptor automático de interconexión para desconexión/conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento.

Los valores de actuación para máxima y mínima frecuencia, máxima y mínima tensión son:

$$49 - 51 \text{ Hz y } 0,85 \cdot U_m - 1,1 \cdot U_m.$$

El rearme del sistema de conmutación será automático, una vez se restablezcan las condiciones normales de suministro de la red. El inversor seleccionado contiene estas protecciones, por lo que la función será realizada mediante un contactor cuyo rearme será automático. El estado del contactor (on/off) debe señalizarse claramente en el frontal del equipo. Si el inversor no dispone de un interruptor on/off, la tarea se realizará a través de un magnetotérmico instalado junto al inversor.

El fabricante de un inversor debe certificar los valores de tara de tensión y frecuencia, así como el tipo y características del equipo utilizado para la detección de fallos. Además, deben realizarse pruebas para comprobar que el inversor cumple los límites establecidos de tensión y frecuencia. Si las funciones de protección se realizan mediante un programa de control de operaciones, el fabricante debe proporcionar certificados que afirmen que el programa no es accesible para el usuario de la instalación. Todos estos certificados y documentos de garantía deben adjuntarse al inversor.

2.3.9 Punto de conexión de la instalación.

El punto de conexión de la instalación se realizará en el cuadro general de mando y protección del edificio, conectándose a la red interior de la instalación eléctrica de suministro. Esta conexión se realizará después del Interruptor General de Abastecimiento (IGA) ubicado en el cuadro.

2.5 Conclusiones.

Con el objetivo de obtener los permisos necesarios para la instalación y puesta en marcha del proyecto, se han descrito los alcances y los elementos a instalar. Sin embargo, el proyecto está preparado para añadir o modificar cualquier aspecto que sea necesario para garantizar un correcto funcionamiento de la instalación.

Capítulo 3. La resistencia y comportamiento de los materiales: Mecánica de los sólidos.

En la física de partículas, los sólidos están compuestos por sistemas de partículas que requieren hipótesis simplificadoras para su estudio. Estas hipótesis permiten que la realidad física de los sistemas de partículas sea manejable.

En la física clásica, los sistemas de referencia se utilizan para describir el movimiento en términos de la física de Newton. Los sistemas de referencia se clasifican en sistemas de referencia inerciales y no inerciales. Un sistema de referencia se dice inercial cuando está fijo o tiene movimiento relativo uniforme (Fernández, s. f.).

En la mayoría de los materiales, se ha comprobado que el proceso de deformación es reversible en el caso de pequeñas deformaciones. Esto significa que el material puede volver a su forma original después de la deformación. Este comportamiento se conoce como elasticidad. Sin embargo, si la deformación es demasiado grande, el material puede sufrir una deformación permanente lo que significa que no puede volver a su forma original.

3.1 Fuerzas internas de un material.

La magnitud vectorial de la tensión en un sólido es el resultado de las fuerzas internas presentes cuando el material está sujeto a cargas externas. Es importante tener en cuenta que la tensión es una magnitud intensiva en relación a la superficie y puede variar dependiendo del plano de corte seleccionado. En consecuencia, para un sólido que se encuentra en equilibrio estático, la suma total de las fuerzas y los momentos debe ser nula: $\sum \vec{F} = 0$, $\sum \vec{M} = 0$.

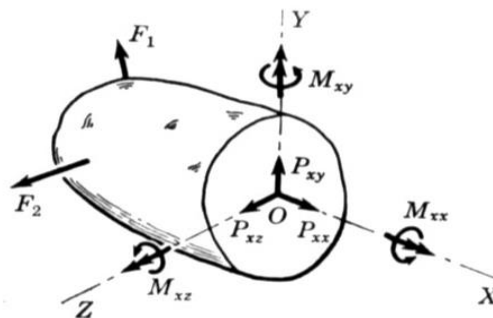


Figura 12. Fuerzas internas («ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS», 2010)

3.2 Deformación

La deformación se refiere al cambio en la forma de un cuerpo debido a las tensiones que aparecen en el mismo a raíz de las fuerzas externas aplicadas o cambios de temperatura (*Significado de Deformación*, s. f.). En términos simples, la deformación se puede definir como la variación relativa en las longitudes entre puntos interiores de los sólidos.

El hecho de que el cuerpo vuelva o no a su estado original determinará si la deformación es permanente o reversible (*¿Qué es la deformación?*, 2021). La deformación es un indicador directo de la tensión y se utiliza para definir el comportamiento mecánico de los sólidos.

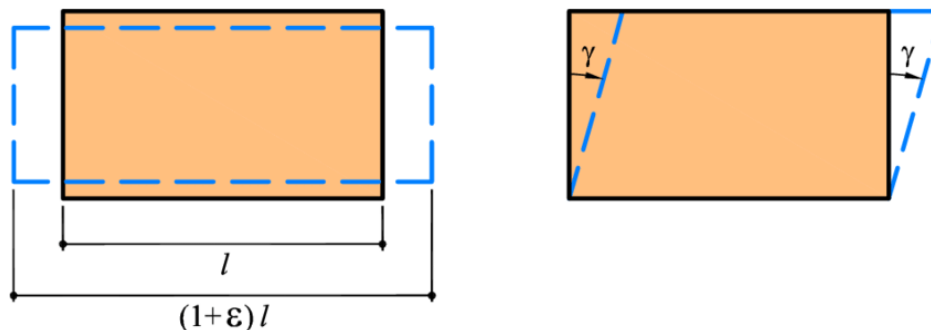


Figura 13. Deformación angular y longitudinal. ((A) Deformación Longitudinal
(b) Deformación Por Cortante, s. f.)

La deformación de los objetos sólidos se refiere a la modificación en la ubicación de sus puntos ocasionada por la acción de fuerzas externas. Estos cambios pueden tener impacto en la longitud, área y volumen del objeto. Cuando un objeto se deforma, cada punto de una curva material se desplaza debido al movimiento del cuerpo. El tensor de deformación se utiliza en la teoría de la elasticidad para describir la deformación de un cuerpo y es una herramienta fundamental (Ros Felip, 2016).

Las deformaciones se producen en una área denominada campo de desplazamientos en el que se puede definir como: $\delta = u_i + v_j + w_k$ donde $u = u(x, y, z)$; $v = v(x, y, z)$; $w = w(x, y, z)$ son las coordenadas de los puntos con lo que se puede derivar de una manera sencilla las expresiones para las deformaciones sufridas de cada punto en función al campo de desplazamiento.

3.3 Tipo de cargas y apoyos

Para comprender cómo se comporta un sólido en distintas condiciones, es fundamental clasificar las cargas que soporta. Pueden distinguirse varios tipos de cargas en función de su estilo de aplicación, duración y variación temporal.

En cuanto al estilo de aplicación, las cargas pueden ser concentradas, superficiales o de volúmenes variables. Toda la masa del sólido está sometida a cargas volumétricas como la presión gravitatoria o hidrostática. (Hibbeler et al., 2006) Como ocurre con la presión del viento o el peso de la nieve sobre una tejada, la carga superficial actúa sobre la superficie del sólido. Por último, las cargas concentradas se aplican a determinados puntos del sólido, como una carga puntual o una fuerza de impacto.

Los tipos de carga pueden clasificarse como permanentes o esporádicas en función de su duración. La definición de carga permanente es una carga que permanece constante a lo largo del tiempo, como el peso propio de un sólido o el peso de una estructura de soporte. Por el contrario, las cargas esporádicas no son constantes y cambian con el tiempo, como la sobrecarga o los efectos del viento o la nieve.

Por último, según cómo cambien con el tiempo, si son estáticas o dinámicas, se pueden distinguir las cargas. Las fuerzas de inercia no son producidas por cargas estáticas porque su magnitud o punto de aplicación cambian muy lentamente. La dinámica de los coches, sin embargo, cambia con suficiente rapidez como para dar lugar a fuerzas de inercia significativas. (Hibbeler et al., 2006)

Los apoyos son componentes que se utilizan para soportar y sujetar una estructura al tiempo que permiten la transmisión de cargas. Las características de la estructura, el tipo de carga que debe soportar y las restricciones de movimiento necesarias influyen en la elección del apoyo.

A continuación, se indican las formas de apoyo más populares:

- 1) Empotrado: Este tipo de apoyo impide tanto el movimiento como la rotación de la estructura en cualquier dirección. Este tipo de apoyo proporciona un alto grado de rigidez y se utiliza con frecuencia en estructuras en las que se requiere un alto grado de estabilidad, como, por ejemplo, en edificios altos o puentes.

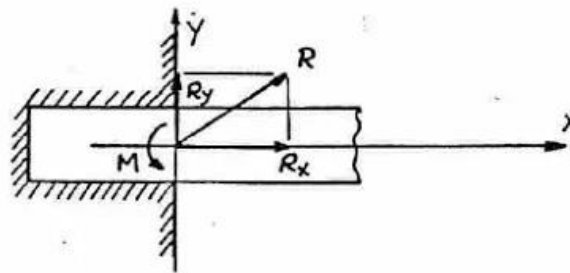


Figura 14 Apoyo empotrado (IngMario, 2014)

- 2) Articulado: se refiere a un tipo de soporte que permite mover la estructura en una dirección, pero impide la rotación. Este tipo de soporte se utiliza en estructuras en las que se requiere cierta flexibilidad y la capacidad de moverse en una dirección, como, por ejemplo, en rejillas o estructuras de puentes plegables.

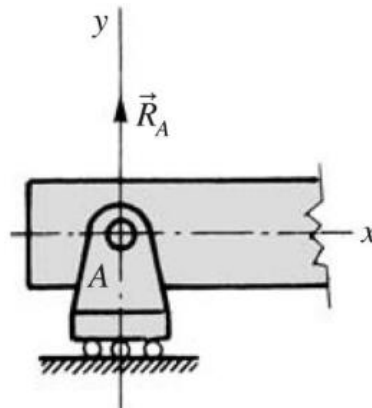


Figura 15 Apoyo articulado (8.- Apoyos y enlaces entre elementos estructurales., s. f.)

- 3) Móvil: Este tipo de asistencia permite tanto el movimiento como la rotación de la estructura en una dirección. Este tipo de asistencia se utiliza en estructuras que necesitan ser más flexibles y capaces de moverse en varias direcciones, como por ejemplo en estructuras de puentes.

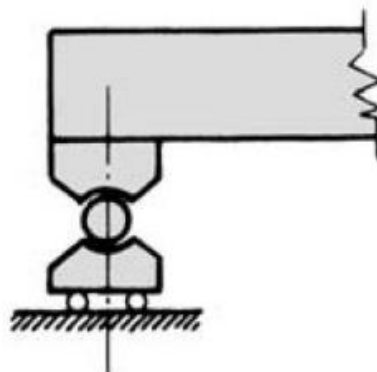


Figura 16 Apoyo móvil (8.- Apoyos y enlaces entre elementos estructurales., s. f.)

3.4 Análisis de Von Mises

El criterio de von Mises, también conocido como criterio de la máxima energía de distorsión, es una teoría de la resistencia de materiales que se utiliza para predecir la falla de materiales dúctiles. “Este criterio se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima” (*Criterio de rendimiento de von Mises Formulación matemática*, 2020).

La tensión de von Mises se expresa en términos de las tensiones principales σ_1 , σ_2 , σ_3 , y se calcula mediante la fórmula

$$\sigma_{VonMises} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

El criterio de von Mises establece que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de la relación entre el límite de tensión y la tensión de von Mises. (*Criterio de máxima tensión de von Mises - 2018 - Ayuda de SOLIDWORKS, s. f.*)

Por lo que para que el material no entre en una deformación permanente se tiene que cumplir el siguiente criterio:

$$\sigma_{\text{vonMises}} < \sigma_{\text{limite}}$$

Mientras que el factor de seguridad en una ubicación del material se calcular a partir de la siguiente expresión:

$$FDS = \sigma_{\text{limite}} / \sigma_{\text{vonMises}}$$

La tensión de von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión y se utiliza en ingeniería estructural como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles («Tensión de Von Mises», 2022). La teoría de fallo elástico basada en la tensión de von Mises también se conoce como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-von Mises. Esta teoría se utiliza para calcular la superficie de fluencia de un material que falla de acuerdo con el criterio de von Mises.

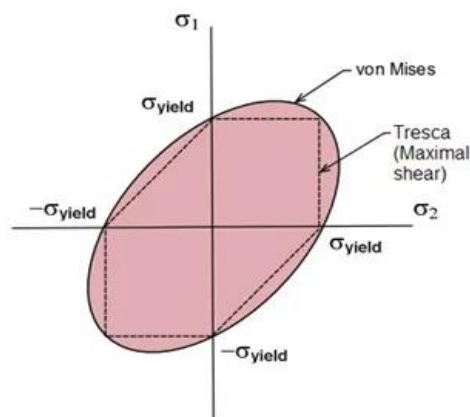


Figura 17 Análisis Von Mises (Teoría Del Esfuerzo Cortante Máximo, s. f.)

Capítulo 4. Método de elementos finitos.

El método de elementos finitos es una técnica numérica empleada en la ingeniería y física para examinar el comportamiento de sistemas compuesto por estructuras complejas

Este método ha sido ampliamente usado para distintas aplicaciones que van desde el diseño y análisis hasta la ingeniería de estructura para simulaciones de situaciones muy complejas como la transferencia de calor y dinámica de fluidos.

Otra aplicación muy importante de este método es que es muy útil para problemas que no tienen soluciones analíticas precisas porque permite realizar una serie de aproximaciones con una alta precisión y eficacia, también muy usado donde las geometrías a analizar no son nada simple por la capacidad de adaptación tan amplia de este método («Método de los elementos finitos», 2023)

En resumidas cuentas, este método de elementos finitos es una herramienta muy importante principalmente para la ingeniería para su uso en la investigación y para la industria ha sido crucial en muchos de los avances actuales de la ciencia y tecnología.

4.1 Fundamento principal

El método de elementos finitos (MEF) se fundamenta en la solución numérica de las variables de campo, que se encuentran definidas a través de ecuaciones diferenciales o integrales en los métodos numéricos convencionales. En el MEF, el modelo se discretiza a través de una "malla" compuesta por elementos, los cuales se definen por medio de nodos donde se aplican las cargas y condiciones de contorno.

Para la unión de los nodos se utilizan funciones de interpolación que dependen del tipo de elemento utilizado, en otras palabras, el método se encarga de resolver las ecuaciones de la variable de campo en los nodos, suponiendo una variación de la variable entre ellos por lo cual es crucial que la modelización del sistema sea lo más precisa para la obtención de una solución óptima, lo que depende (Napoles Padron et al., 2015).

La del MEF puede llegar a ser un tanto compleja por lo que su resultado tiene una alta dependencia al factor humano

4.2 Procedimiento.

El MEF es una técnica numérica utilizada para aproximar soluciones de ecuaciones diferenciales parciales (EDP) y resolver problemas de ingeniería y ciencias aplicadas. El procedimiento general del MEF se puede describir de la siguiente manera:

- 1) Definir el dominio del problema: El dominio del problema se divide en pequeñas subregiones llamadas elementos finitos. Cada elemento finito es una aproximación simple del dominio y se define por un conjunto de nodos que se encuentran en sus bordes.

- 2) Discretizar la ecuación diferencial: La ecuación diferencial que describe el problema se convierte en un conjunto de ecuaciones algebraicas para cada elemento finito. Esto se logra mediante la aplicación del principio de mínima energía, también conocido como principio variacional. El objetivo es minimizar la energía total del sistema, que está compuesta por la energía cinética y la energía potencial.
 - 3) Ensamblar el sistema de ecuaciones: Una vez que se han generado las ecuaciones para cada elemento finito, se ensamblan en un sistema global. Esto implica juntar todas las ecuaciones, asegurando que las condiciones de contorno se satisfagan adecuadamente.
 - 4) Resolver el sistema de ecuaciones: El sistema de ecuaciones se resuelve para obtener la solución aproximada del problema. Existen diversos métodos numéricos para resolver sistemas de ecuaciones lineales, entre ellos, el método de eliminación gaussiana y el método de factorización LU.
 - 5) Analizar y visualizar los resultados: La solución obtenida se analiza para verificar su precisión y se visualiza para interpretar los resultados. En algunos casos, puede ser necesario repetir el proceso con diferentes tamaños de elementos finitos para mejorar la precisión de la solución.
- («Método de los elementos finitos», 2023) (Napoles Padron et al., 2015)

4.3 Formulas y ecuaciones relevantes

Lo primero a definir es la matriz de rigidez, donde esta es una matriz cuadrada que representa la relación entre las fuerzas y los desplazamientos en un elemento finito, la matriz de rigidez es fundamental para la resolución del sistema de ecuaciones lineales que surgen en el modelo. (*Bilbao et al. - TEMA 3 – Matriz de rigidez.pdf*, s. f.)

Para la relación de la fuerza con los desplazamiento nodales se tiene en cuenta la siguiente formula:

$$[\bar{F}] = [\bar{K}] \cdot [\bar{u}]$$

Donde:

- $[\bar{F}]$ = Vector de las cargas nodales
- $[\bar{u}]$ = Vector de desplazamientos
- $[\bar{K}]$ = Matriz de rigidez material

Relación Deformación/Tensión es directamente proporcional al módulo estático (E) mientras que este depende del material.

$$\sigma = E\varepsilon + \sigma_0 = E(\varepsilon + \varepsilon_0)$$

El cálculo de las tensiones se realiza a partir de las deformaciones, por lo que es necesario conocer la relación que existe entre los desplazamientos y las deformaciones, para el caso de deformaciones de 3 ejes la expresión es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta/\delta_x & 0 & 0 \\ 0 & \delta/\delta_y & 0 \\ 0 & 0 & \delta/\delta_z \\ \delta/\delta_y & \delta/\delta_x & 0 \\ 0 & \delta/\delta_z & \delta/\delta_y \\ \delta/\delta_z & 0 & \delta/\delta_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

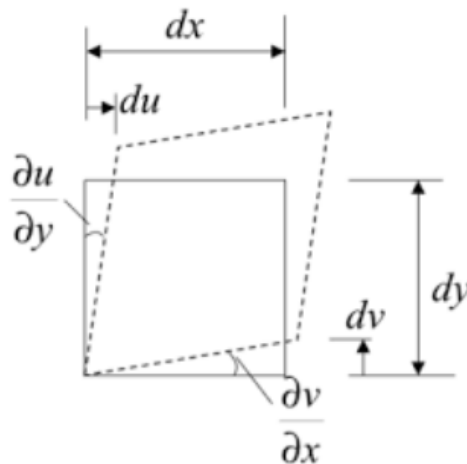


Figura 18 Deformación en elemento diferencial
(MECAPEDIA • Deformación transversal unitaria, s. f.)

Para satisfacer la condición de compatibilidad en el caso del estado plano, las funciones que describen los desplazamientos deben ser continuas y tener un solo valor para cada posición en el plano. Es decir, deben ser funciones suaves que representen de manera precisa el comportamiento del material en cada punto del plano y que no presenten cambios bruscos o discontinuidades en su valor. (Bilbao et al. - TEMA 3 – Matriz de rigidez.pdf, s. f., p. 3)

Dicha condición para este es:

$$\frac{\delta^2 \varepsilon_x}{\delta^2 y} + \frac{\delta^2 \varepsilon_y}{\delta^2 x} = \frac{\delta^2 \gamma_{xy}}{\delta_x \delta_y}$$

En el caso para el equilibrio estático, si se expresa en cada eje de cumplir que:

$$\text{Eje X} \rightarrow \sigma_{x,x} + \tau_{xy,y} + \tau_{zx,z} + F_x = 0$$

$$\text{Eje Y} \rightarrow \sigma_{y,y} + \tau_{xy,y} + \tau_{yz,z} + F_y = 0$$

$$\text{Eje Z} \rightarrow \sigma_{z,z} + \tau_{yz,y} + \tau_{zx,z} + F_z = 0$$

Donde:

$$F_x, F_y, F_z \rightarrow \text{Fuerza de volumen}$$

Función de forma e interpolación, solo se puede determinar los valores de la variable de campo en los nodos del elemento. Por esta razón, es necesario utilizar funciones de interpolación que nos permitan obtener una aproximación del valor de la variable de campo en cualquier punto del elemento. Estas funciones de interpolación son esenciales para obtener una representación precisa del comportamiento del material en todo el elemento finito, y permiten obtener resultados confiables en el análisis estructural.

$$\phi = [X][a]$$

$$[X] = [x \ x^2 \ \dots \ x^n]; [a] = [a_0 a_1 \ \dots \ a_n]$$

Interpolación lineal $\rightarrow n = 1$

Interpolación Cuadrática $\rightarrow n = 2$

Para poner los valores nodales de $[a]$ se usa la siguiente formula de transformación:

$$[a] = \frac{[A]}{[\phi_e]}$$

Donde:

$$\phi_e = \text{Valor en el nodo}$$

Para calcular los otros puntos teniendo el valor de uno se usa:

$$\phi = [X][a] = \frac{[X]}{[A]} \cdot [\phi_e] = [N][\phi_e]$$

Siendo la función de termino el $[N] = \frac{[X]}{[A]}$

En resumen, la variable de campo en el Método de Elementos Finitos se interpola en toda la malla, dividiéndose en tramos que dependen del tipo de interpolación utilizado en el elemento.

La continuidad entre los tramos depende del grado de continuidad impuesto en el campo. Por ejemplo, el campo se considera continuo de grado "m" si todas las derivadas hasta el grado "m" son continuas entre elementos. Esto es muy importante para determinar con precisión el valor del campo en las zonas cercanas a los nodos de la malla. (*Bilbao et al. - TEMA 3 – Matriz de rigidez.pdf*, s. f., p. 3)

Por último, para la matriz de rigidez se emplea el "Principio de trabajos virtuales"

$$\int [\delta \epsilon]^T \sigma dV = \int [\delta u]^T F dV + \int [\delta u]^T \phi dS$$

Donde:

- $[\delta u] = [\delta u \ \delta v \ \delta w]^T \rightarrow$ Desplazamiento virtual
- $\phi =$ Fuerza de superficie
- $F =$ Fuerza de volumen

- $[\delta\varepsilon] = \text{Vector de formación}$

Sustituyendo la relación de deformación-tensión en la anterior formula nos dejaría la fórmula para calcular la matriz de rigidez por elemento.

$$[\delta d]^T \left(\int [B]^T [E] [B] dV \cdot [d] - \int [B]^T [E] [\varepsilon_0] dV \right. \\ \left. + \int [B]^T [\sigma_0] dV \cdot [d] - \int [N]^T [F] dV - \int [N]^T \phi dS \right) = 0$$

Capítulo 5. Diseño y optimización de la estructura para paneles fotovoltaicos.

En el ámbito de la energía renovable, los paneles fotovoltaicos juegan un papel fundamental al convertir la energía solar en electricidad limpia y sostenible. Sin embargo, para garantizar un rendimiento óptimo de los paneles, es esencial contar con una estructura adecuada que los soporte de manera segura y eficiente. En este apartado, se abordará el diseño de la estructura para paneles fotovoltaicos y posteriormente se realizarán cálculos justificativos. Se examinarán aspectos como la ubicación, orientación, inclinación, materiales utilizados y otros factores relevantes para asegurar un desempeño óptimo de los paneles fotovoltaicos.

5.1 Consideraciones previas.

5.1.1 Panel Solar

La energía solar es una fuente de energía limpia y renovable que con la actualidad se ha vuelto muy popular en todo el mundo. Con el aumento en el precio de la luz y el crecimiento que ha tenido el uso de la energía solar, la oferta de los paneles solar ha aumentado significativamente en los últimos años, generando que se produzca más competitividad entre las marcas y abriendo un abanico amplio de opciones disponibles en termino de tamaño, tecnología y eficiencia.

En los paneles solares que existen en la actualidad hay diferentes tipos de tecnología de células solares, donde destacan más las células de silicio monocristalino, células solares de silicio policristalino y células solares de película delgada. Donde cada tipo de célula tiene sus propias características.

En cuanto al tamaño de los paneles solares, estos pueden variar desde muy pequeños usados en dispositivos móviles hasta de un gran tamaño para proyectos comerciales y megaproyectos.

A efectos del modelado de la estructura, se va a tomar como medida un panel grande para que pueda ocupar el mayor área posible, específicamente se tomara como referencia las medidas del panel seleccionado y descrito con anterioridad que es el Canadian Solar CS3Y, que tienen una medidas de 2252 x 1048 x 35 mm, que son medidas bastante estándar entre la gama de modelos que se encuentran en el mercado.

5.1.2 Distribución de paneles

A la hora de saber el tipo de estructura que se necesita lo primero es tener claro un buen diseño de la distribución de los paneles solares. Para el diseño de la distribución hay varios puntos clave que hay que tener en cuenta entre ellas las más destacadas son las siguiente:

- **Ubicación geográfica:** este es un factor crítico en el momento de diseñar la distribución de los paneles solares, por lo que es importante conocer la longitud, latitud y altitud del lugar donde se realizara la instalación para

poder determinar de una manera aproximada la cantidad de radiación solar a la que se estaría expuesto durante el año. Otro punto importante de la ubicación es tener en cuenta el clima de la zona, ya que esto puede afectar de manera directa la eficacia de los paneles.

- **Orientación e inclinación:** son factores importantes para lograr maximizar la cantidad de radiación solar que puedan capturar los paneles, como norma general, los paneles en la medida de lo posible deben orientarse hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. La inclinación óptima para los paneles depende de la latitud del lugar donde se instalan, en el hemisferio norte la inclinación más ideal es generalmente igual a la latitud más 10-15 grados mientras que en el hemisferio sur la inclinación óptima es la misma latitud menos 10-15 grados.
- **Sombra:** las sombras es un problema muy importante para los paneles, ya que cualquier objeto puede generar un bloqueo de la luz solar provocando sombras que reducen significativamente la cantidad de energía que puede capturar los paneles. Es por esto a que la hora del diseño de la distribución se busca siempre en medida de lo posible evitar las sombras.
- **Conexión eléctrica:** un factor importante es el propio sistema eléctrico del edificio o casa para poder diseñar la instalación de manera que se cumplan las normas eléctricas y de construcción para asegurar la eficiencia y seguridad del sistema

5.1.3 Tipo de cubierta

Con el aumento en la demanda de la energía solar específicamente para la energía solar de autoconsumo, se visto un gran un incremento en las instalaciones fotovoltaicas en las cubiertas de naves industriales para el propio consumo de la empresa. Debido a esto, al existir naves con diversas variaciones en la construcción y los materiales empleados en la cubierta condiciona la sujeción de las estructuras portante al tipo de cubierta donde se instalará.

La cubierta de la nave donde se va a instalar el sistema fotovoltaico es de chapa metálica perfilada que por la normativa "*Chapas metálicas autoportantes para recubrimiento y revestimiento de cubiertas y fachadas. Especificaciones y requisitos de producto.*" UNE 14782:2006, dictamina que la dimensión estándar de nervio es de 48mm, espesor de 0,6 a 1,20 mm y un ancho útil de 1000mm.

Por lo que son las medidas que se tomaron en cuenta para la elección de una sujeción óptima que garantice la seguridad y cumpla las normativas estructurales aplicadas.

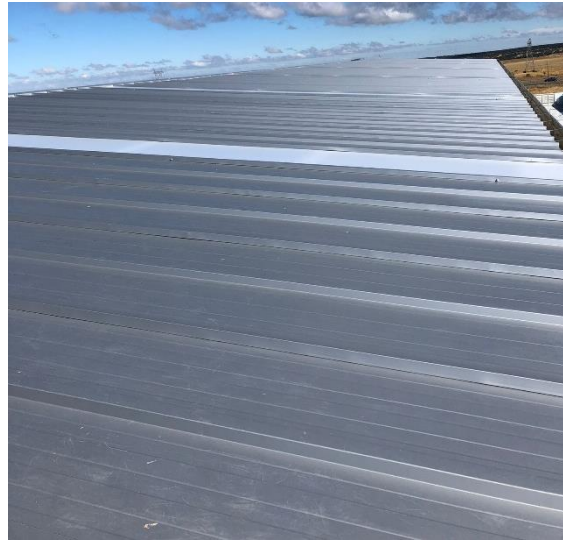


Figura 19 Cubierta de Chapa metálica

5.1.3 Fuerzas y cargas presentes

Para la determinación de las cargas a la que está sometida la estructura se siguen las pautas y criterios que establecen las normativas que se aplican a estas que fueron descritas anteriormente que se deben cumplir de manera obligatoria para garantizar la seguridad de la instalación.

Las cargas y fuerzas que se tienen en cuenta en el diseño y cálculo de la estructura pueden dividirse en dos grupos:

✓ **Constantes**

Serán todas estas cargas que siempre estarán presente en la instalaciones de manera continua en el tiempo.

- **Peso propio:** también conocido como peso propio específico, se refiere al peso de un material o estructura por unidad de volumen. Es una propiedad física que indica la cantidad de masa que un objeto tiene en relación a su tamaño y densidad resultante de la atracción gravitacional de la tierra.

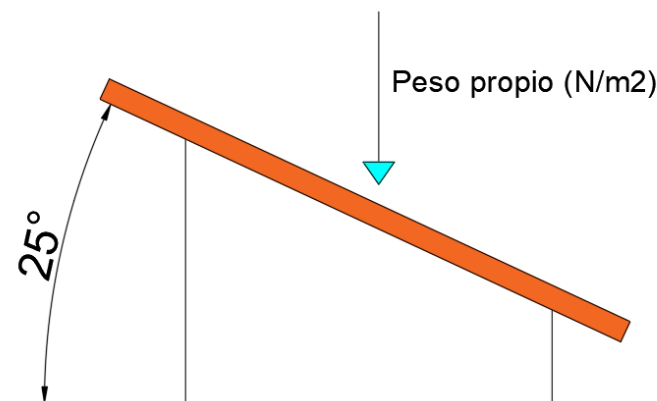


Figura 20. Vector del peso propio

✓ Variables

En cuanto a las fuerzas que van cambiando con el tiempo es decir que no son constantes, para distinguir las que afectan de manera directa o indirecta a la estructura, ya sea en magnitud o posición será en base al documento básico “SE-AE de Acciones en la Edificación” donde se establece que se deben tener en cuenta las siguientes:

➤ Viento

Esta carga se debe a la presión que el viento ejerce sobre la superficie de la estructura, y puede variar en función de la velocidad y dirección del viento, así como de las características de la superficie expuesta. La fuerza del viento puede ejercer una carga significativa sobre una estructura.

La carga del viento dependerá tanto de la zona geográfica, diseño y la orientación de la estructura que en el caso de la instalación es una orientación Sur-Oeste, por lo tanto, la fuerza del viento más grande que actuara sobre la estructura proviene del norte. La magnitud de la carga de viento resultante dependerá de la superficie del panel y del ángulo de inclinación adoptado. En consecuencia, a medida que el ángulo de inclinación se hace mayor, aumenta la resistencia al viento, pero también la carga de presión ejercida sobre el sistema de anclaje. Es importante considerar cuidadosamente estos factores en el diseño y construcción de la estructura para asegurar su estabilidad y seguridad ante la acción del viento.

Para comprobar que se cumplan con los factores de diseño se calculará siguiendo las normas del CTE SE-AE que tipo de carga ejercerá el viento y su valor máximo.

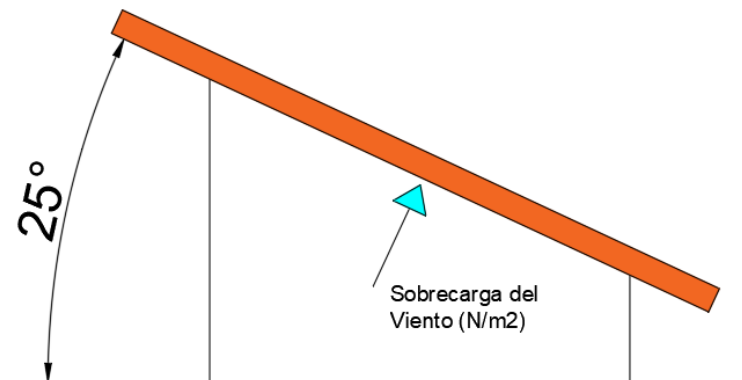


Figura 21. Vector Sobrecarga del Viento

➤ Nieve

La carga de nieve en el diseño de una estructura para paneles solares dependerá de diversos factores, como son la ubicación geográfica, la altitud, el clima y la pendiente del techo. Por lo tanto, es fundamental realizar una estimación lo más precisa posible siguiendo la normativa del código de edificación CTE SE-AE y otros factores específicos de la instalación, como la forma y orientación del techo, la presencia de alguna obstrucción cerna que pueda retener la nieve, y la propia inclinación de los paneles.

También es importante tener en cuenta que la carga de nieve estimada debe de ser mayor que la carga real esperada, para garantizar que la estructura pueda soportar condiciones climáticas adversas

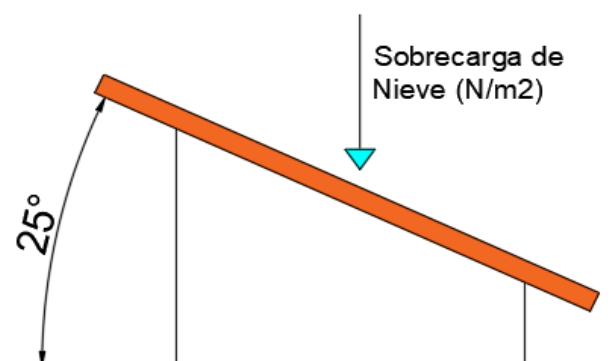


Figura 22. Vector sobrecarga de nieve

5.2 Diseño de la estructura.

Como se comentó anteriormente existe una gran variedad de paneles solares en el mercado con distintas potencias, número de células y distintos tamaños. Las medidas de las placas solares han ido aumentando con el tiempo hasta llegar a un área de uso de aproximadamente 2 m², es por esto que las estructuras están

diseñadas teniendo en cuenta esta área para optimizar la seguridad y norma que deben de cumplirse.

Al ser este caso un panel con un área de producción de 2,36 m² la cual está por encima del valor promedio en el mercado, es especialmente importante que la estructura esté diseñada adecuadamente para soportar el peso y las cargas que puedan generar estos paneles.

El diseño adecuado de la estructura de un panel solar es fundamental para asegurar su seguridad y estabilidad, especialmente cuando se trabaja con paneles de grandes dimensiones. Es por esto que la estructura diseñada permite el uso de estos paneles en diferentes tipos de instalaciones, lo que expande las posibilidades de su en diferente tipos de instalaciones.

El diseño mecánico de una estructura para paneles solares es una tarea importante para garantizar la estabilidad y seguridad del sistema. Con el fin de asegurar un modelado preciso y eficaz de la estructura, se segmentó en diversas partes individuales, incluyendo:

5.2.1 Patas de soporte

Las patas de soporte son elementos fundamentales de la estructura que aseguran su estabilidad y distribuyen las cargas del sistema en el terreno. A su vez las patas de soporte se dividirán en dos partes, las traseras y delanteras, donde las trasera son más largas que las delanteras y están diseñadas para soportar la carga posterior de los paneles solares, mientras que las patas delanteras soportan la carga frontal. Ambas patas deben estar fijadas adecuadamente en el terreno y ser resistentes a las condiciones climáticas adversas.

En las patas de soporte de los paneles solares, se suele utilizar aleaciones de aluminio de la serie 6000 debido a su alta resistencia mecánica, buena conformabilidad y excelente resistencia a la corrosión. Para este caso en particular, la aleación de aluminio se utilizará será la 6061-T6, que es una aleación de aluminio endurecida mediante tratamiento térmico y que se caracteriza por una excelente combinación de resistencia mecánica y tenacidad.

El diseño propuesto para las patas de soporte de la estructura se ha concebido para soportar todas las posibles cargas que puedan actuar sobre el sistema de paneles solares, incluyendo el peso de los propios paneles, las cargas de viento y las cargas de nieve para el caso de la situación de esta instalación. Se puede ver el diseño final en la *Figura 23 y 24*

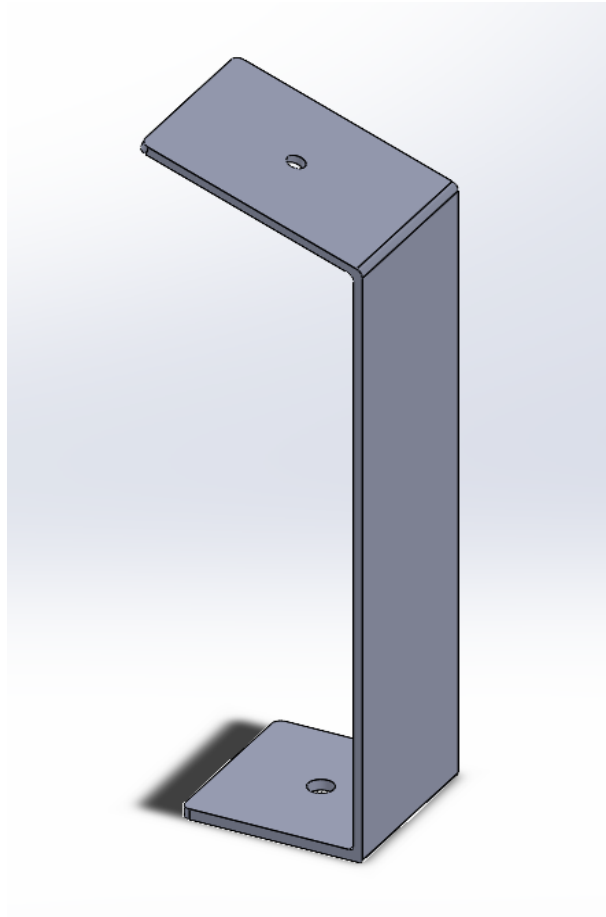


Figura 23. Diseño de la pata trasera

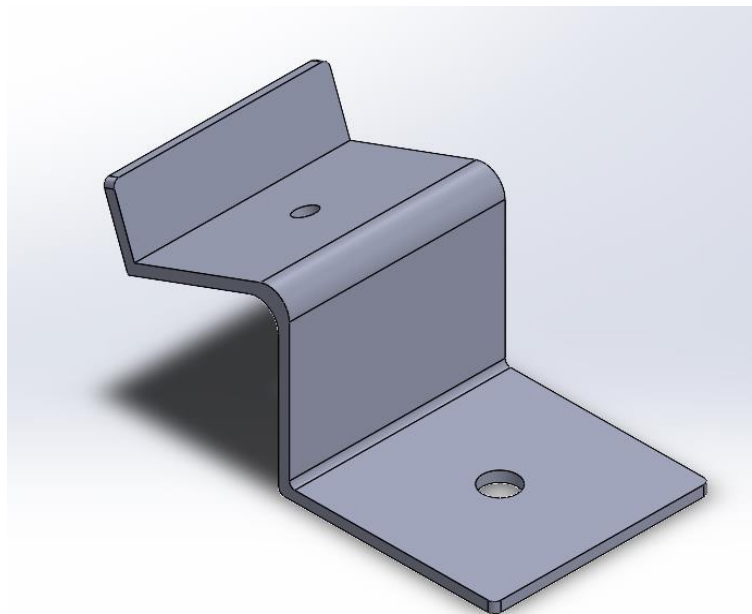


Figura 24. Diseño pata delantera

Para comprobar la eficacia del diseño propuesto, se llevará a cabo un análisis detallado de las patas traseras en un apartado más adelante, utilizando herramientas de simulación y cálculo estructural. En este análisis se evaluarán

las diferentes cargas a las que estarán sometidas las patas traseras y se verificará su capacidad para resistirlas sin deformarse o sufrir daños.

Como se puede observar en las *Figura 23 y 24* las patas se componen de dos secciones: una sección inferior y otra sección superior. La sección inferior se fija a una viga que estará fijada al techo mediante tornillos de anclaje, mientras que la sección superior se une al panel mediante grapas y juntas de unión.

En función del ángulo de plegado y la distancia en la que se coloquen las patas de la estructura, se pueden conseguir diferentes ángulos de inclinación de los paneles solares. La inclinación de los paneles solares dependerá directamente del ángulo de plegado de las patas y de la distancia en la que se coloquen estas, para la instalación se colocaran los paneles en un ángulo de 25° el plegado y las distancia entre las patas se observa en la *Figura 25*.

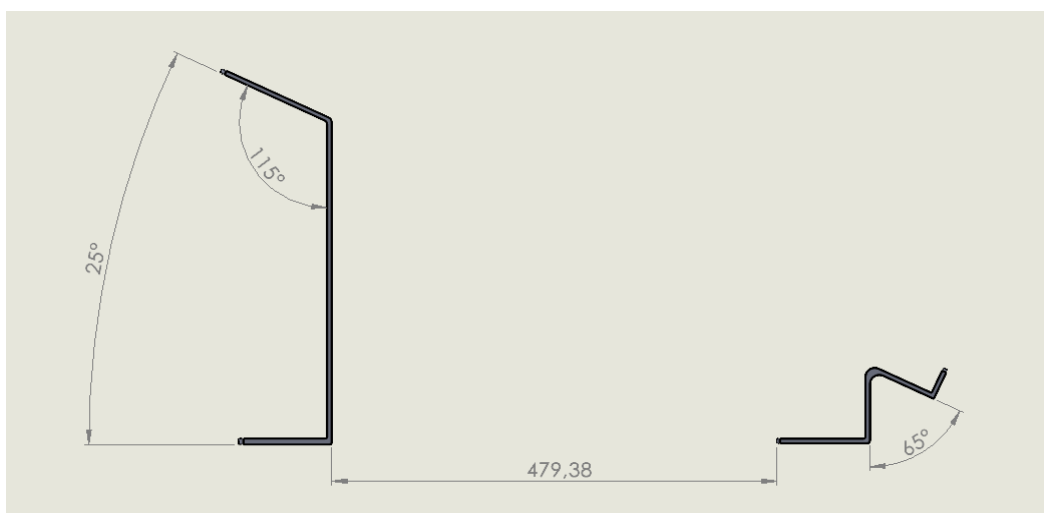


Figura 25. Dimensiones para inclinación 25°

5.2.2 Grapa intermedia.

Las grapas intermedias son componentes críticos en la construcción de estructuras de paneles solares. Estas grapas se utilizan para fijar los paneles solares a las cumbreras de la estructura y garantizar que estén bien sujetos y colocados.

Las grapas intermedias están diseñadas para adaptarse a distintos tamaños de paneles solares y caballetes, lo que las hace muy versátiles y fáciles de usar. También suelen estar fabricadas con materiales resistentes a la corrosión, es por esto que se utilizara como en las patas de soporte la aleación de aluminio 6061-T6, para garantizar su durabilidad a largo plazo sin necesidad de mantenimiento.

Para este caso el diseño de la grapa se realizó para que permita una sujeción de panes con un grosor de entre 35 - 45 mm que son los el grosor estándar que se encuentra en el mercado, estas grapas se sujetaran a las patas de soporte median una tornillería de métrica M10.

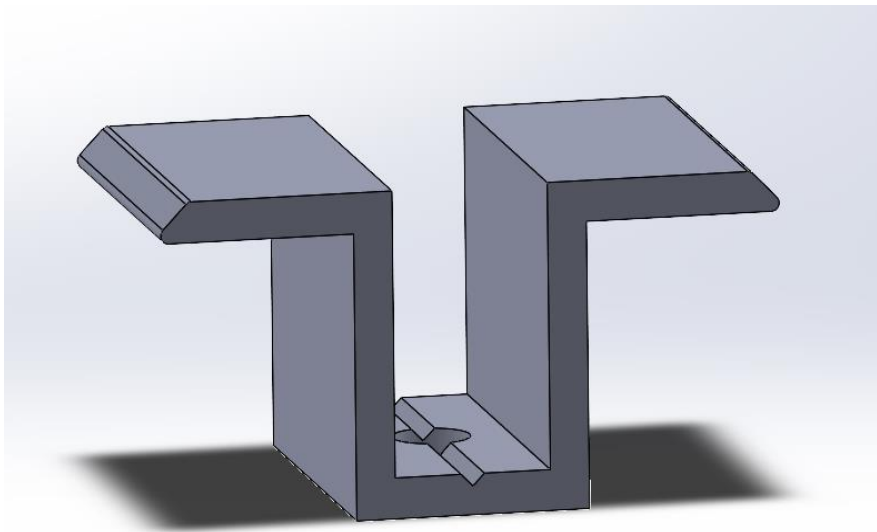


Figura 26. Diseño grapa intermedia

5.2.3 Grapa final

Las grapas finales tienen una función similar a las grapas intermedias, en el sentido de que su objetivo principal es asegurar los paneles solares a la estructura de soporte. Pero, su función específica es asegurar los extremos de cada línea de módulos solares fotovoltaicos, garantizando la estabilidad de toda la cadena de paneles de esa línea.

Las Grapas finales diseñadas, al igual que las grapas intermedias, están diseñados para sujetar paneles solares con comprendidos entre 34 - 45 mm.

Es fundamental recordar que las últimas clavijas deben instalarse correctamente y utilizando la herramienta es por esto que se fijaran mediante tornillos de métrica M10 que permite una sujeción segura y eficaz de los paneles solares.

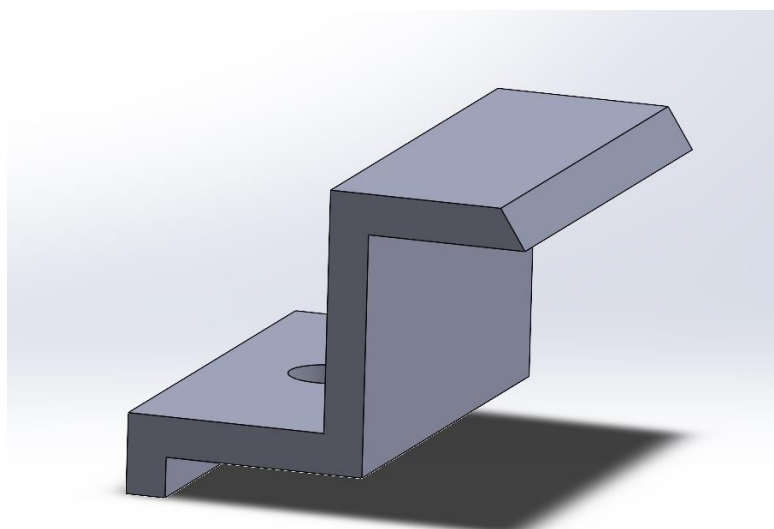


Figura 27. Grapa final

5.2.4 Perfil viga de soporte

El perfil es un componente esencial en la instalación de estructuras para paneles solares, ya que se utiliza para anclar la estructura a la superficie donde se requiere la instalación. Hay una amplia variedad de perfiles disponibles, que se fabrican en diferentes materiales. Los materiales más comunes son el acero inoxidable y el aluminio anodizado, debido a su alta resistencia mecánica, su ligereza y su excelente resistencia a la corrosión.

La corrosión es un factor clave que puede provocar fallos en las estructuras de soporte de paneles solares, ya que estas se encuentran expuestas directamente a los agentes atmosféricos. Por lo tanto, es esencial que los perfiles de anclaje tengan un tratamiento anticorrosivo adecuado para protegerlos de la corrosión y garantizar su durabilidad.

Hay una gran cantidad de perfiles en el mercado, que varían según sus dimensiones, geometrías y tipo de superficie donde se hará la instalación, para este caso se partió de un perfil de la marca SUNFER 03V para chapas metálicas, se ha modificado la geometría de la pieza para simplificar su diseño y permitir un modelado y análisis detallado más sencillo. La nueva geometría tiene una forma más simple, con menos detalles y curvas complejas que dificultaban el proceso de diseño y análisis.

La simplificación de la geometría también permitió reducir el número de elementos finitos necesarios para el análisis, lo que a su vez redujo el tiempo y los recursos necesarios para realizar el análisis.

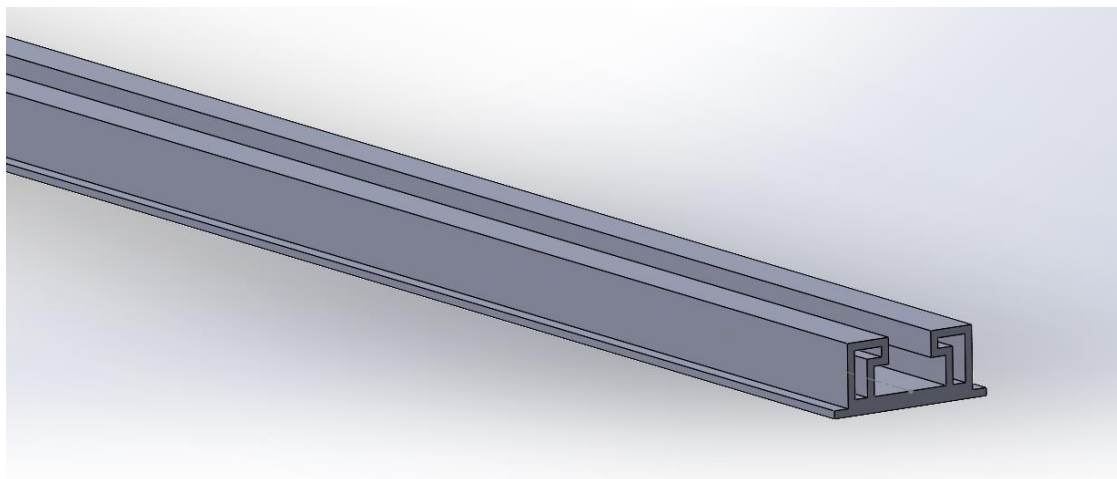


Figura 28. Diseño del perfil

Para el material del perfil se utilizará una aleación de aluminio EN AW 6005A T6 es que es el mismo tipo de aleación que usa la marca SUNFER en sus perfiles.

5.2.4 Placa soporte al perfil

Para el agarre de las patas de soporte con el perfil, se diseñó una tuerca en forma de placa que tendrá una sujeción mediante tornillería de métrica M14, para la tuerca se utilizará la misma aleación de aluminio empleado en las patas de soporte.

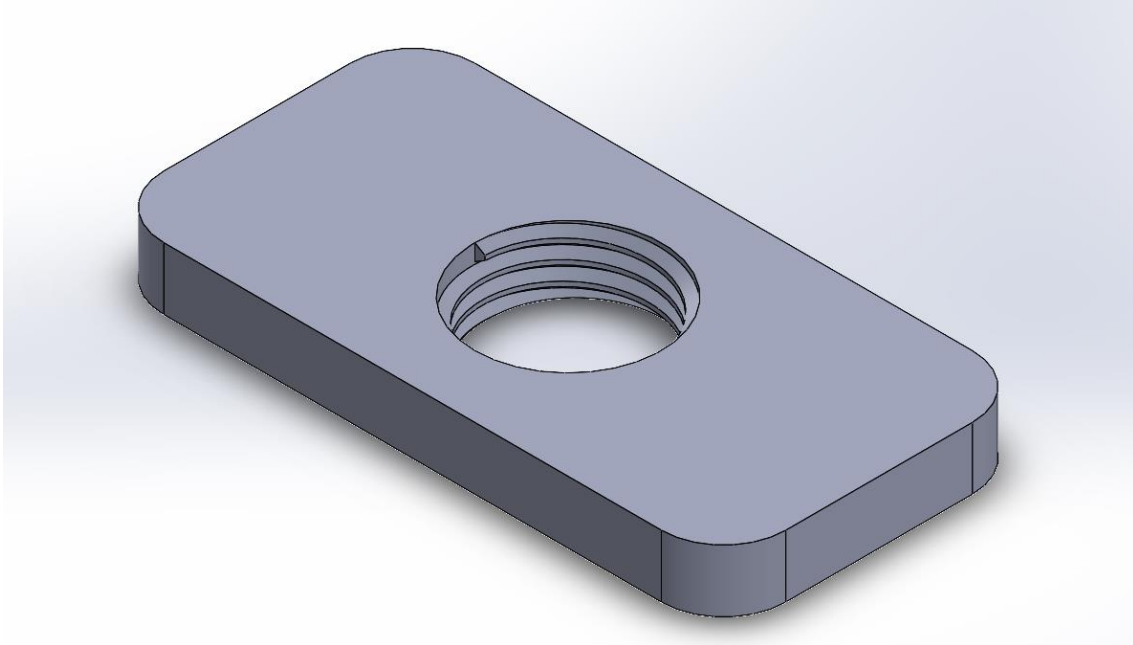


Figura 29. Diseño placa de agarre

5.2.5 Salva Greca

Se diseñó una salva greca para fijar el perfil de la estructura a la cubierta. La salva greca es un elemento que se coloca en la parte inferior del perfil y se ajusta a la geometría de la cubierta, permitiendo una fijación sólida y segura. Esta pieza es esencial para garantizar la estabilidad y resistencia de la instalación, ya que protege el perfil y evita que se deslice o se desplace de su posición debido a las condiciones climáticas o movimientos bruscos.

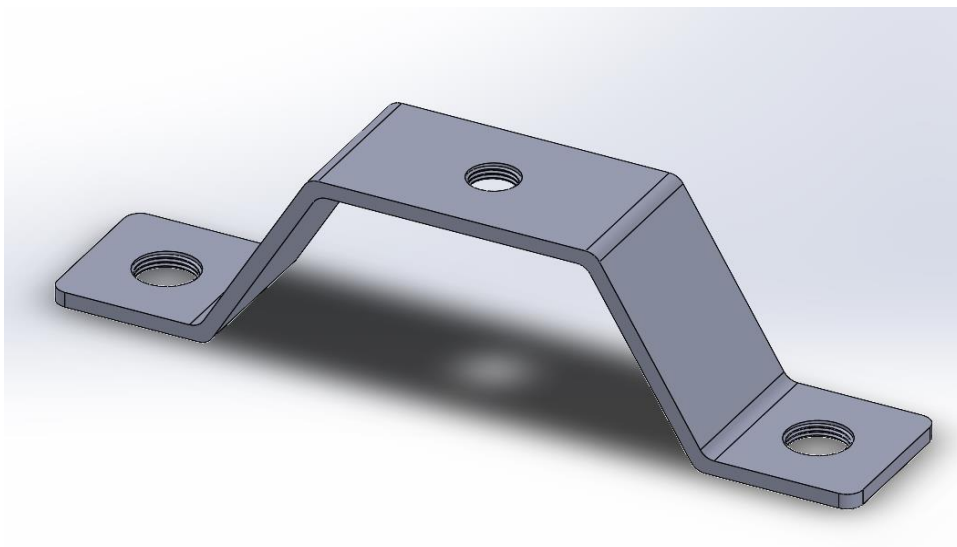


Figura 30. Diseño de salva greca

5.3 Piezas estandarizadas.

5.3.1 Tornillo DIN 912.

Para realizar la sujeción de las grapas con las patas de soporte se utilizó este tipo de tornillo de métrica M10 con un paso de 1,5 de acero inoxidable para garantizar una unión correcta, otra ventaja de estos tornillo es que están recubierto para su uso en la intemperie bajo cambios climáticos y agente de corrosión. La longitud que se planteo fue de 45mm que es una medida suficiente para asegurar el soporte de las piezas.

La sujeción con la viga de soporte se realizará con un tornillo de métrica M14 paso 2, del mismo material que el tornillo anterior con una longitud de 45mm que es la óptima para asegurar un buen soporte.

5.3.2 Tornillo DIN 7504-K

Tornillos autotaladrantes de acero se emplearán para asegurar la adecuada fijación de la salva greca con la chapa metálica de la cubierta. Estos tornillos pueden perforar y roscar simultáneamente en el material, dando como resultado una unión fuerte y duradera. Además, el acero es un material duradero y resistente que puede soportar condiciones meteorológicas adversas y proteger la estructura de la cubierta. Utilizando un tornillo abrasivo, se garantiza que la salva greca esté firmemente unida a la chapa y sea capaz de soportar fuerzas externas.

5.3.3 Arandela DIN 125 ISO 7089

Para reforzar las uniones en los tornillos DIN 912, se utilizó una arandela plana. Estas arandelas planas son un tipo de elemento de bloqueo que se coloca entre la cabeza del tornillo y la superficie de contacto para proporcionar una distribución uniforme de la carga y mejorar la estabilidad de la unión.

En el caso de los tornillos DIN 912, que son tornillos cilíndricos con cabeza hexagonal y ajuste Allen, la adición de una arandela plana puede ser beneficiosa para mejorar la distribución de la carga y evitar el aflojamiento de la articulación debido a las vibraciones.

5.3.4 Tuerca hexagonal DIN 934

Se utilizará una tuerca DIN 934 para garantizar una sujeción firme y segura de las grapas con las patas de soporte. Esta tuerca es una tuerca hexagonal que se utiliza habitualmente en aplicaciones de fijación y montaje debido a su diseño resistente y fácil de manejar.

La tuerca DIN 934 está fabricada en acero inoxidable de alta calidad, lo que la hace compatible con los tornillos y a su vez ser resistente a la corrosión y a la deformación, convirtiéndola en una opción ideal para aplicaciones en exteriores y en condiciones extremas.

5.4 Subconjuntos de la estructura

Para mostrar el ensamblaje de la estructura de manera clara y detallada, se ha decidido dividirlo en subconjuntos que permitan definir cada una de las partes de manera individual.

Al dividir el ensamblaje en subconjuntos, se pueden definir las piezas y componentes que conforman cada una de las partes del producto final. Esto permite una mejor comprensión de las características de cada subconjunto.

Además, el enfoque de subconjuntos permite un mayor control en el proceso de montaje, ya que los subconjuntos pueden ser ensamblados y probados individualmente antes de ser integrados en el producto final.

5.4.1 Patas de apoyo.

En el subconjunto del ensamblaje de las patas de soporte con las grapas, se unen los componentes que proporcionan la estabilidad y soporte a la estructura, este subensamblaje está compuesto por cuatro partes, dos de las patas traseras y otras 2 para las patas delanteras.

Para el subensamblaje de las patas traseras el listado de los componentes es:

- a) Pata trasera de soporte
- b) Grapa intermedia o final
- c) Tornillo DIN 912 M10
- d) Tornillo DIN 912 M14
- e) Arandela DIN 125 M10
- f) Tuerca Hexagonal DIN 934 M10
- g) Placa soporte al perfil

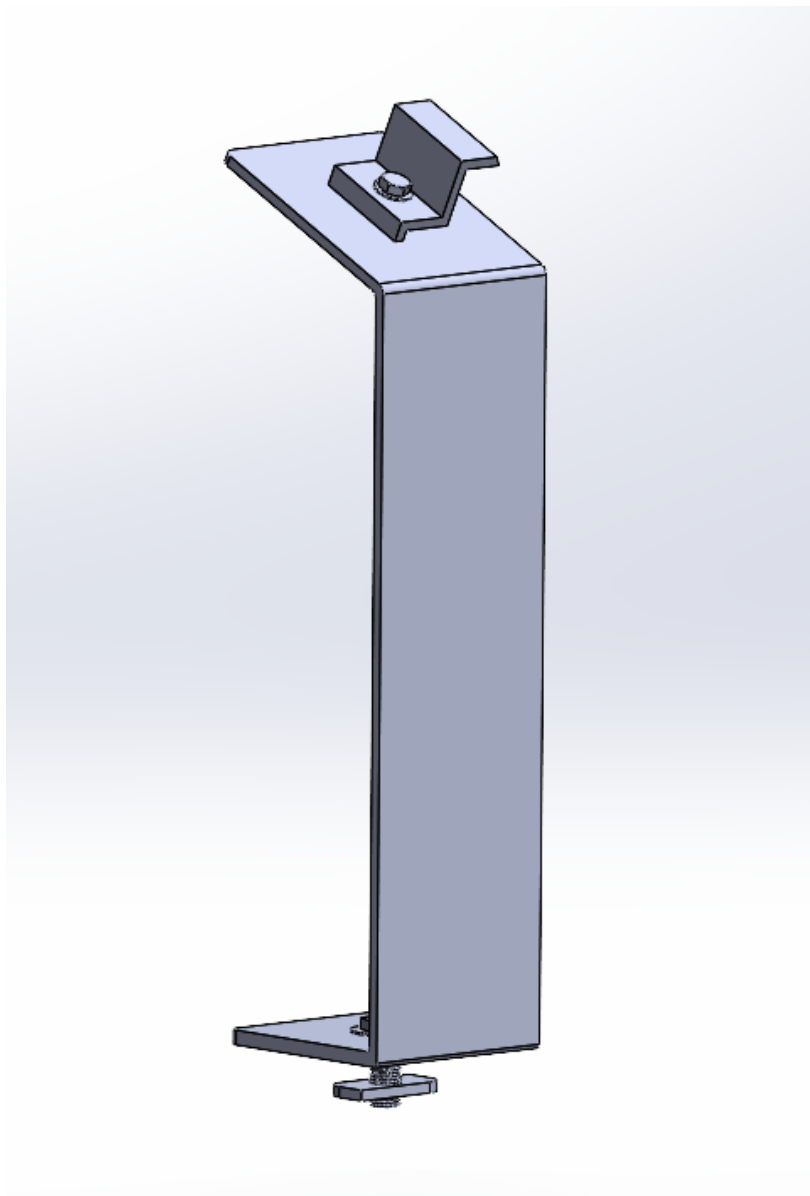


Figura 31. Ensamblaje pata trasera

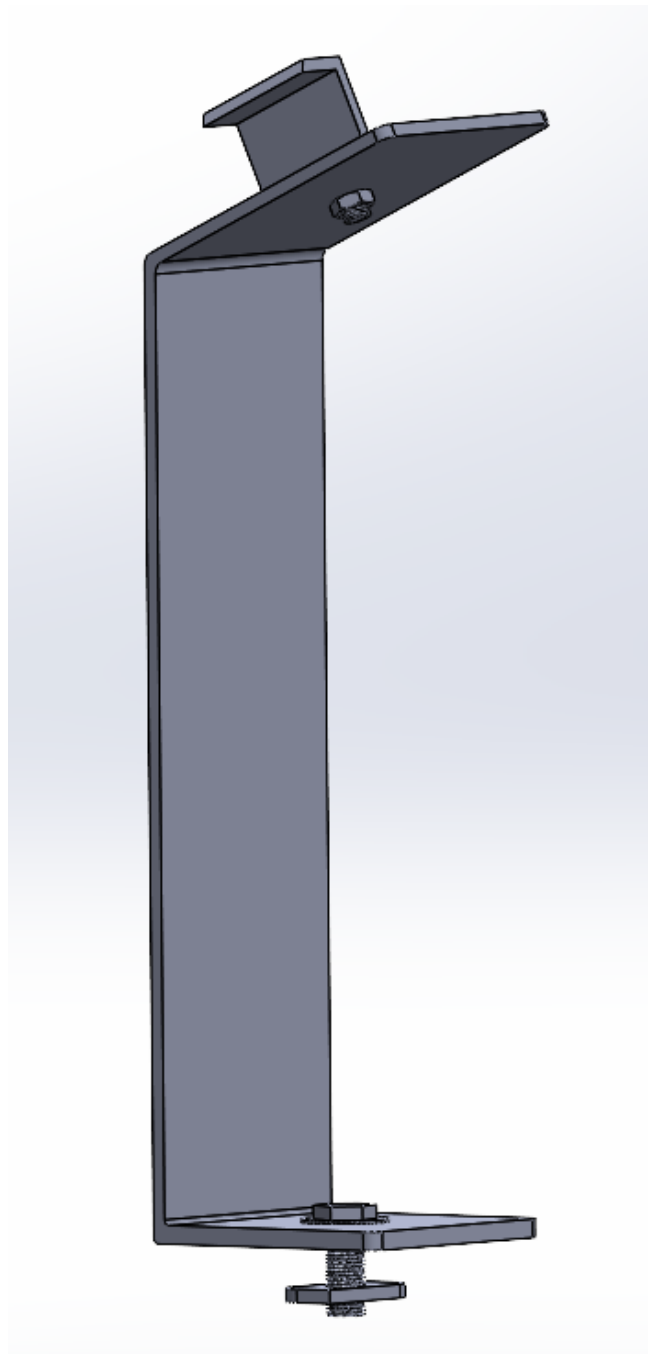


Figura 32. Vista trasera ensamble pata trasera

Para el subensamblaje de las patas de soporte delanteras el listado de componentes es:

- a) Pata delantera de soporte
- b) Grapa intermedia o final
- c) Tornillo DIN 912 M10
- d) Tornillo DIN 912 M14
- e) Arandela DIN 125 M10
- f) Tuerca Hexagonal DIN 934 M10
- g) Placa soporte al perfil

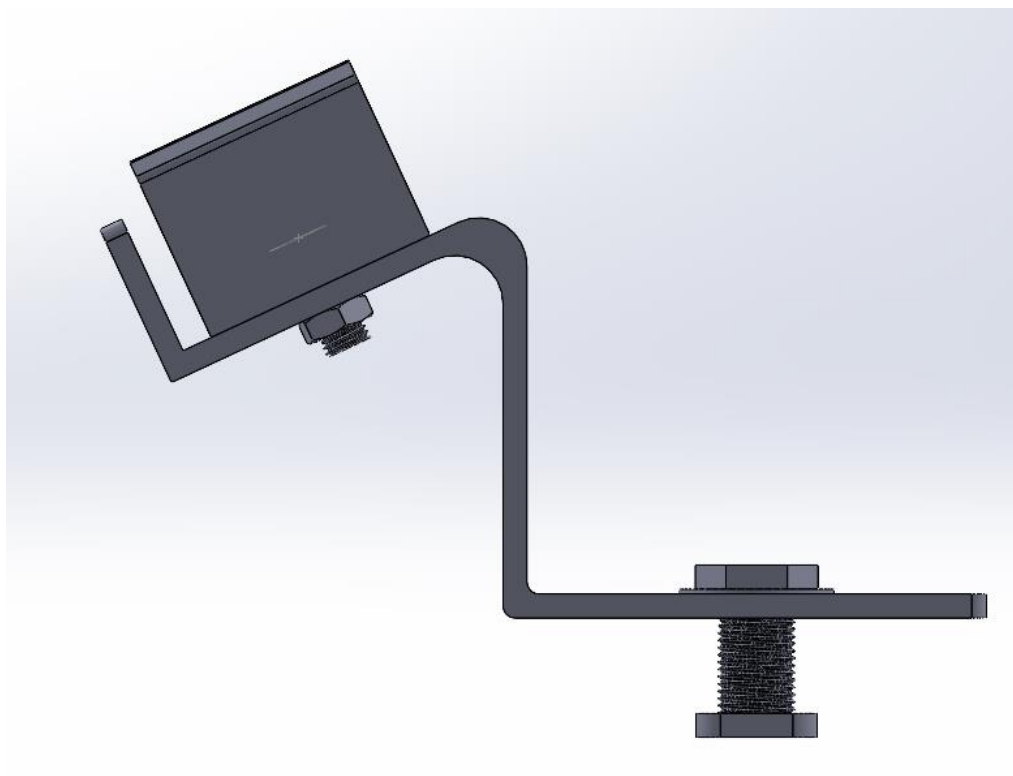


Figura 33. Vista lateral patas delanteras

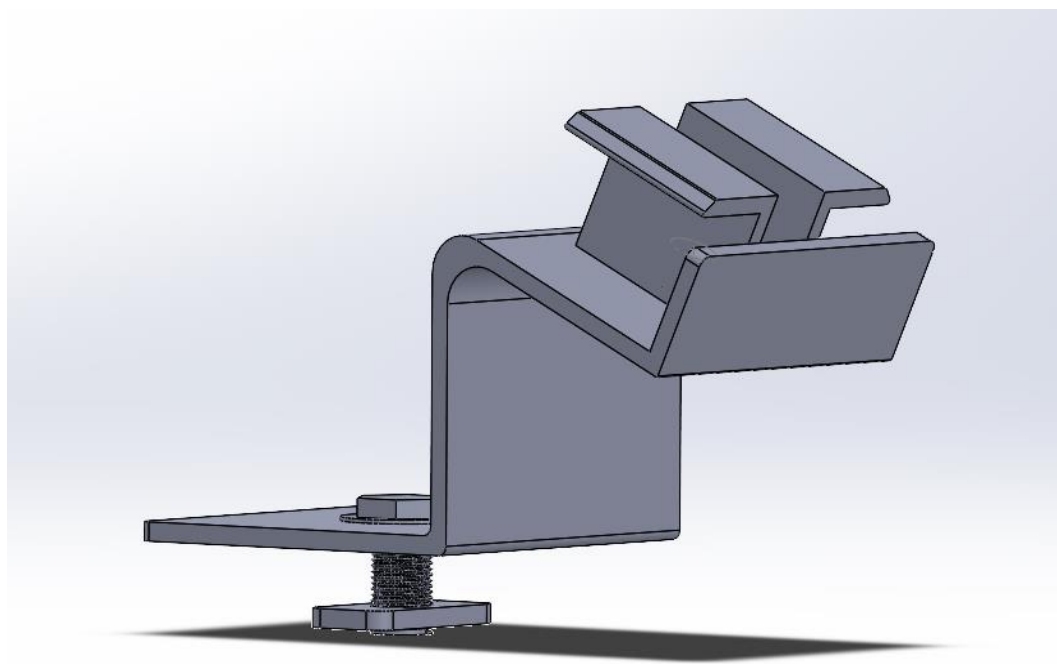


Figura 34. Vista isométrica de la pata delantera

5.4.2 Perfil y patas de soporte

La estructura de montaje diseñada para fijar el módulo solar fotovoltaico en el carril del perfil solar plano permite asegurar las patas delanteras y traseras del soporte al perfil, lo que proporciona la inclinación y orientación deseada para las placas solares, dependiendo de la distancia y el ángulo de plegado disponibles. Esta solución de anclaje es adecuada para su uso en cubiertas de chapa grecada y panel sándwich.

Lista de componentes:

- a) Ensamblaje patas traseras final o intermedia
- b) Ensamblaje patas delanteras final o intermedia
- c) Perfil viga de soporte

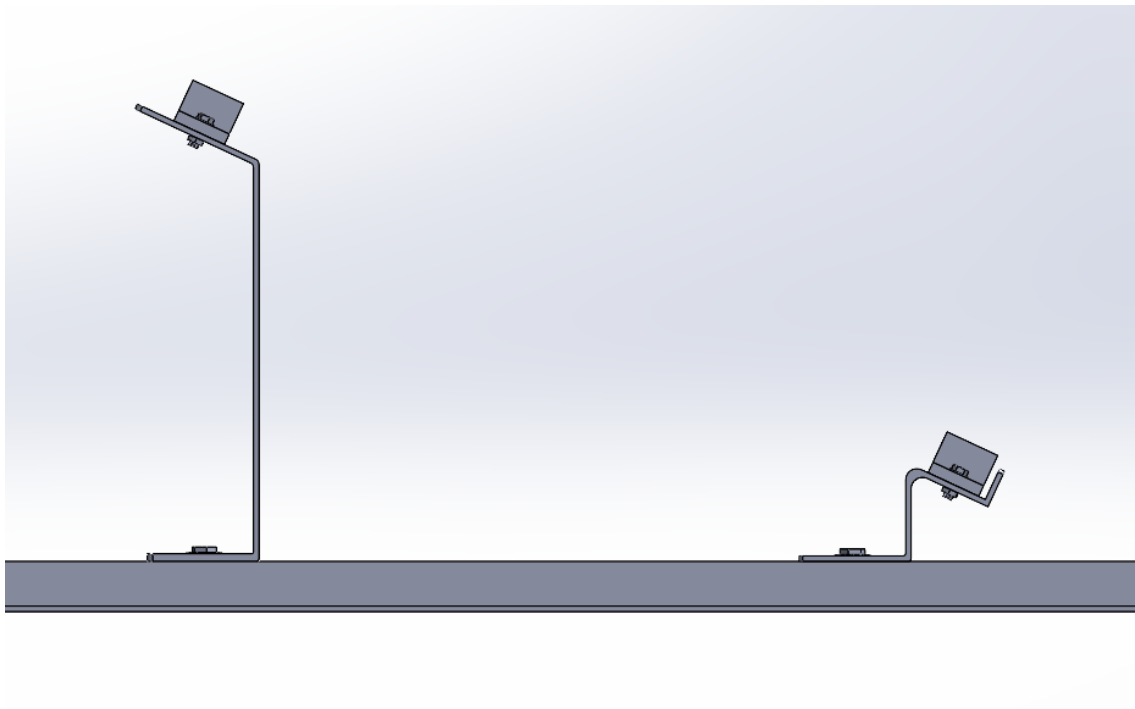


Figura 35. Ensamblaje perfil y pata soporte

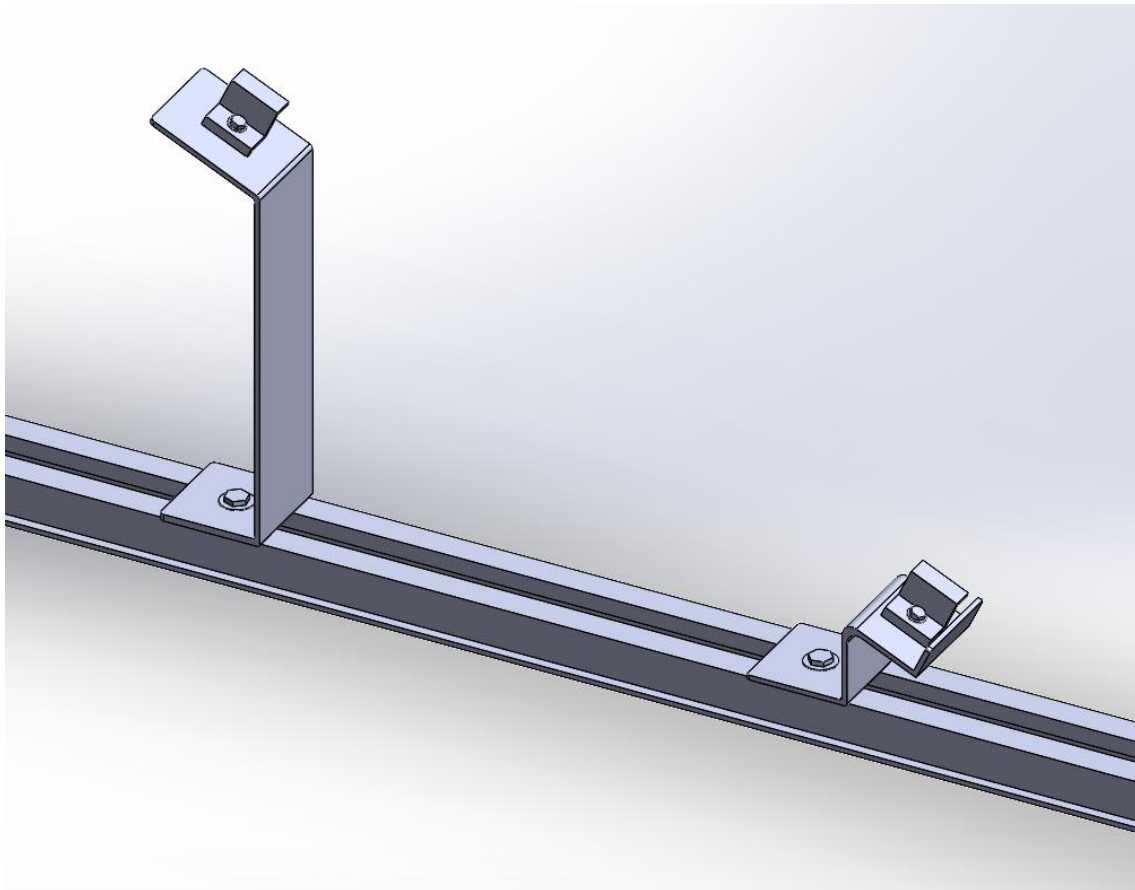


Figura 36. Vista isométrica perfil y patas soporte

5.4.3 Ensamblaje grapa intermedia y final coplanar

El subensamble con el perfil de la estructura y las grapas intermedias y finales se ha utilizado ampliamente para la instalación de paneles coplanares en diversas aplicaciones. Además, estas grapas pueden utilizarse directamente en el perfil para el montaje de paneles coplanares, ampliando la gama de uso de las piezas diseñadas. Dado que no se requieren subensamblaje adicionales, esta solución acorta el tiempo de instalación y mejora la eficiencia del proceso de montaje. Además, la resistencia y durabilidad de las grapas aseguran una sujeción segura y fiable de los paneles, lo que garantiza una instalación robusta y resistente en diferentes entornos y condiciones de uso.

Listado de componentes:

- a) Grapa intermedia y finales
- b) Perfil de soporte
- c) Tornillo DIN 912 M10 de 40mm de largo
- d) Tuerca de diseño de M10
- e) Arandela DIN 125 M10

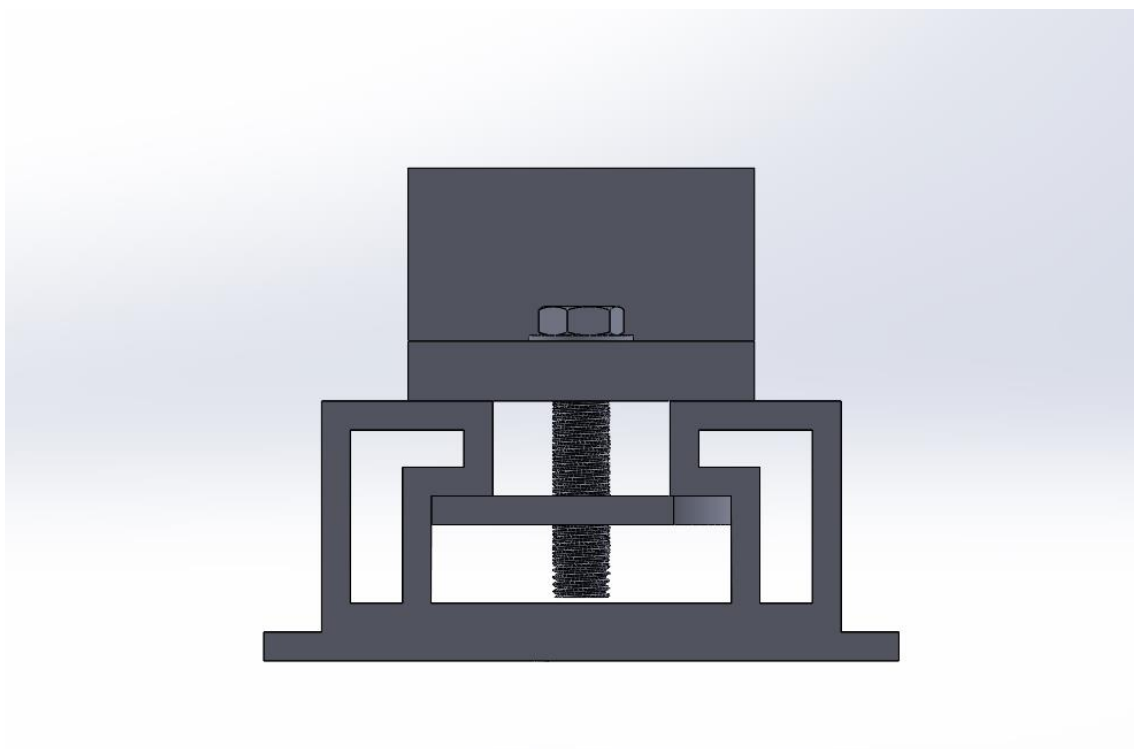


Figura 38. Vista lateral ensamblaje grapa final coplanar

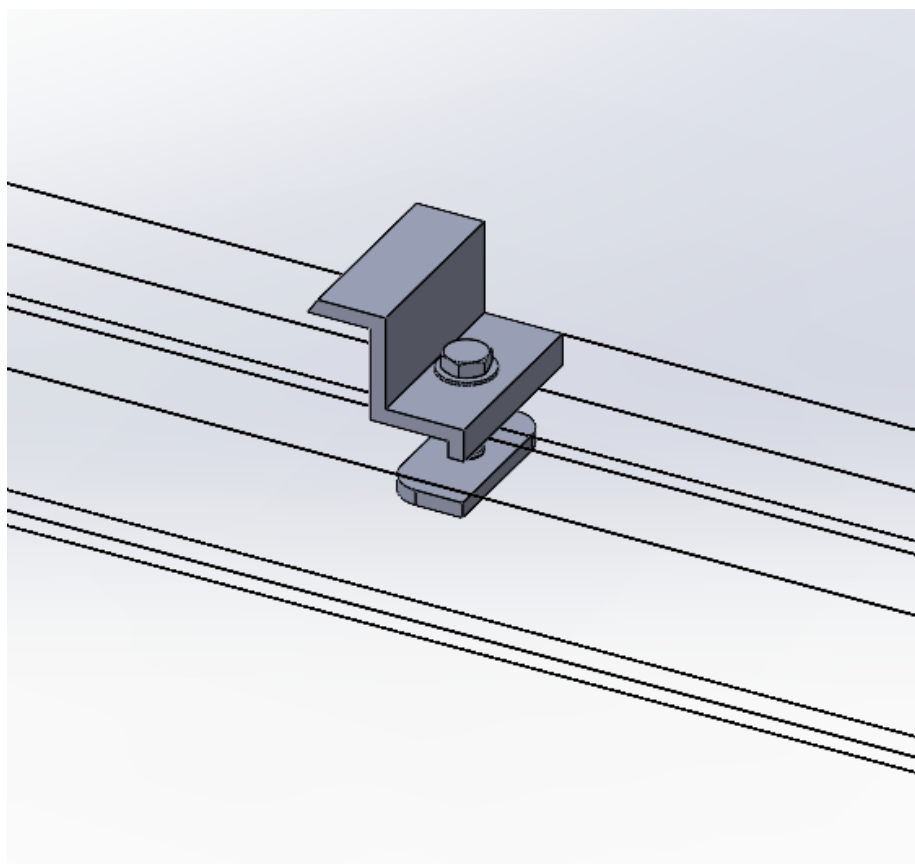


Figura 37. Detalle ensamblaje grapa final coplanar

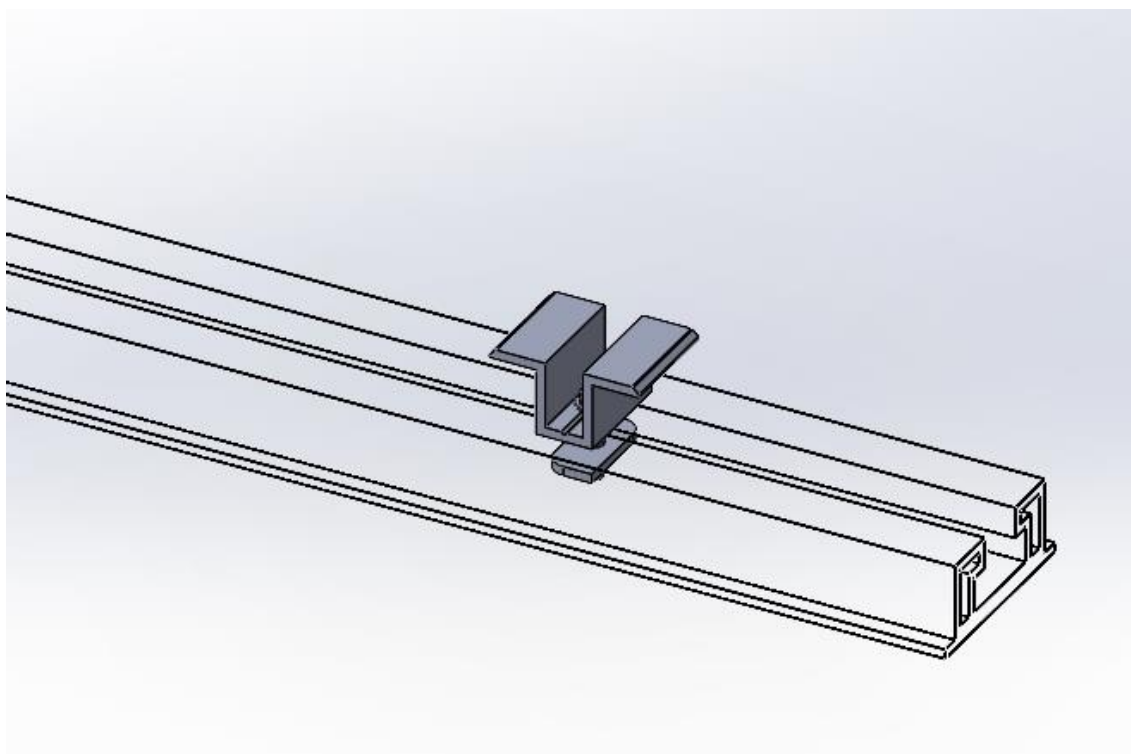


Figura 39. Detalle ensamblaje grapa intermedia coplanar

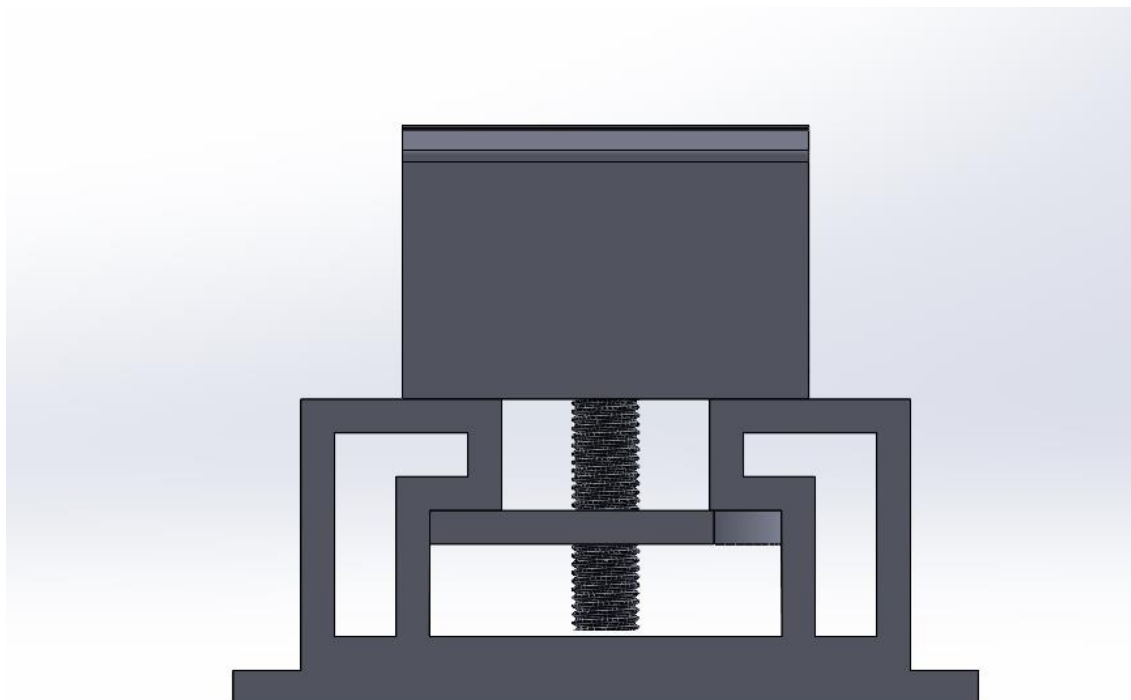


Figura 40. Vista lateral ensamblaje grapa intermedia coplanar

5.4.3 Perfil y salva greca

Es esta la parte del ensamblaje de la estructura que dará lugar a la sujeción con la cubierta de la instalación, por lo que se debe tener muy en cuenta la distancia y tolerancia para garantizar la seguridad de la instalación.

Lista de componentes:

- a) Perfil viga de soporte
- b) Salva greca
- c) Tornillo DIN 912 M16
- d) Tuerca hexagonal DIN 934 M16
- e) Arandela DIN 125 M16

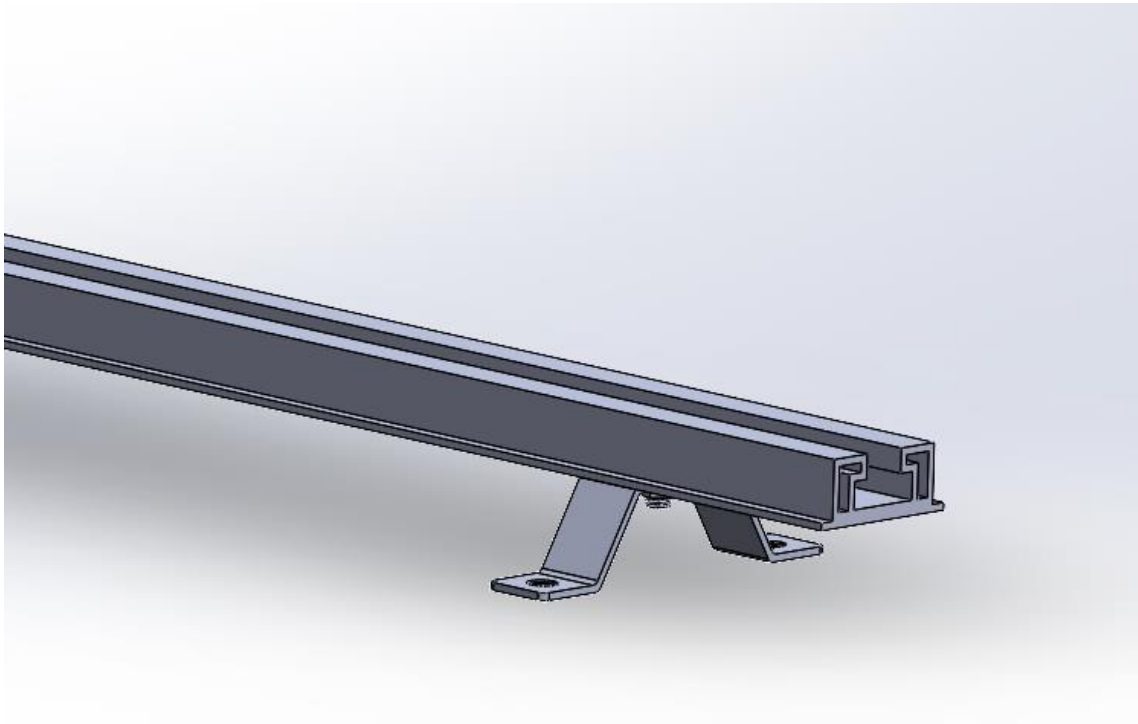


Figura 41. Ensamblaje perfil y salva greca

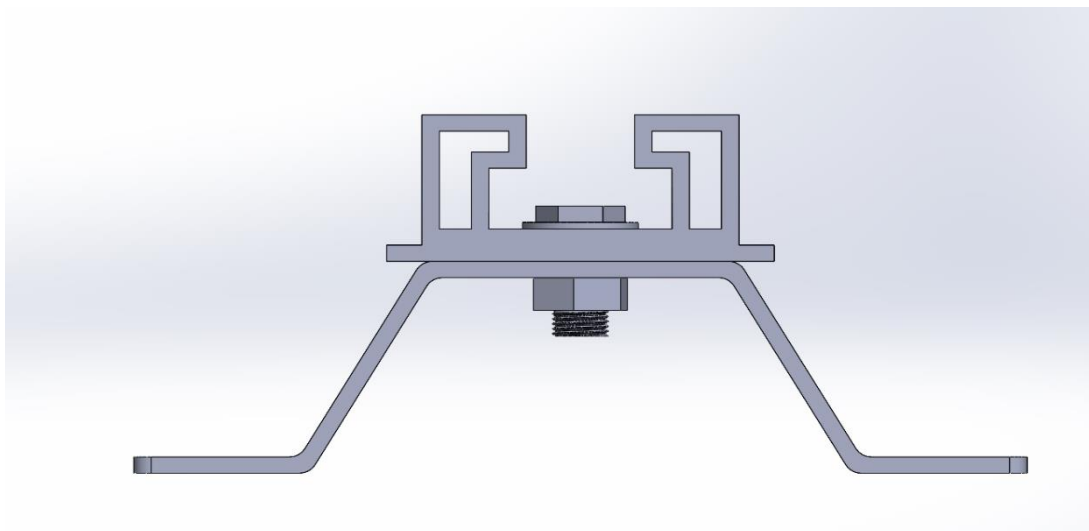


Figura 42. Vista alzada perfil y salva greca

5.4.4 Anclaje a la chapa

Este subensamblaje es una parte integral del perfil de la estructura con la cubierta de chapa metálica, y es responsable de asegurar una sujeción base por lo cual ha de ser segura y estable. El subensamblaje se compone de varias piezas clave que trabajan juntas para lograr una conexión fuerte y confiable entre la estructura y la cubierta de chapa metálica. Su importancia no debe subestimarse, ya que una mala sujeción podría comprometer la integridad y la estabilidad de toda la estructura. Por lo tanto, es crucial que este subensamblaje se instale correctamente y se mantenga regularmente para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de toda la estructura.

Los componentes que están este subensamblaje son:

- a) Subensamblaje perfil y salva greca
- b) Tornillo DIN 912 M20
- c) Tuerca hexagonal DIN 034 M20
- d) Arandela DIN 125 M20
- e) Tornillo DIN 7054-K

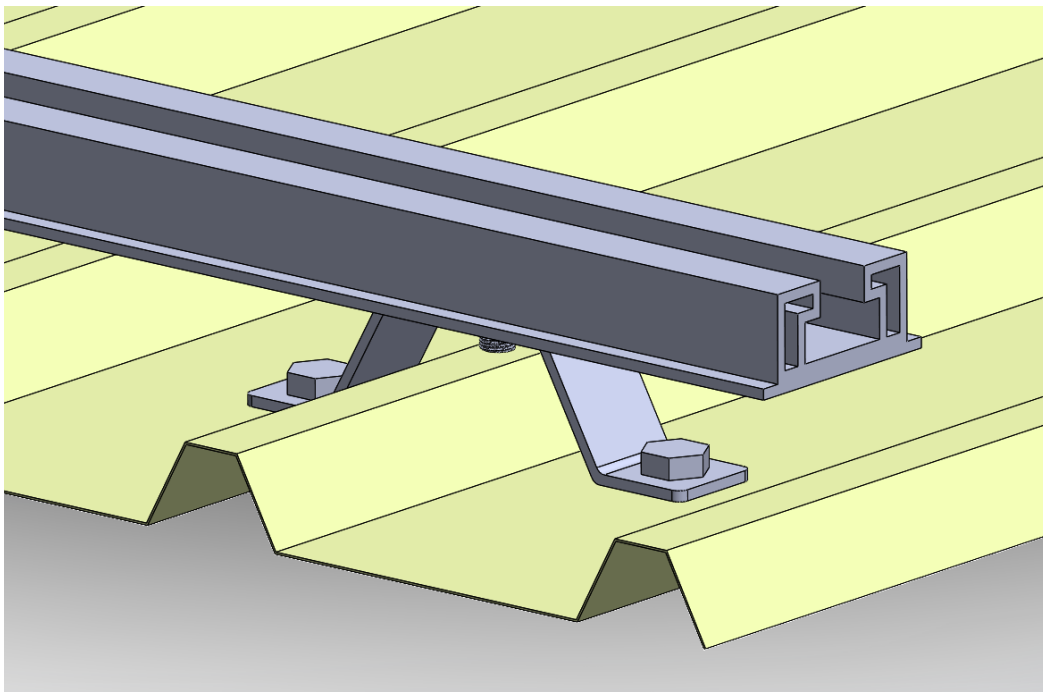


Figura 43. Ensamble anclaje a la chapa

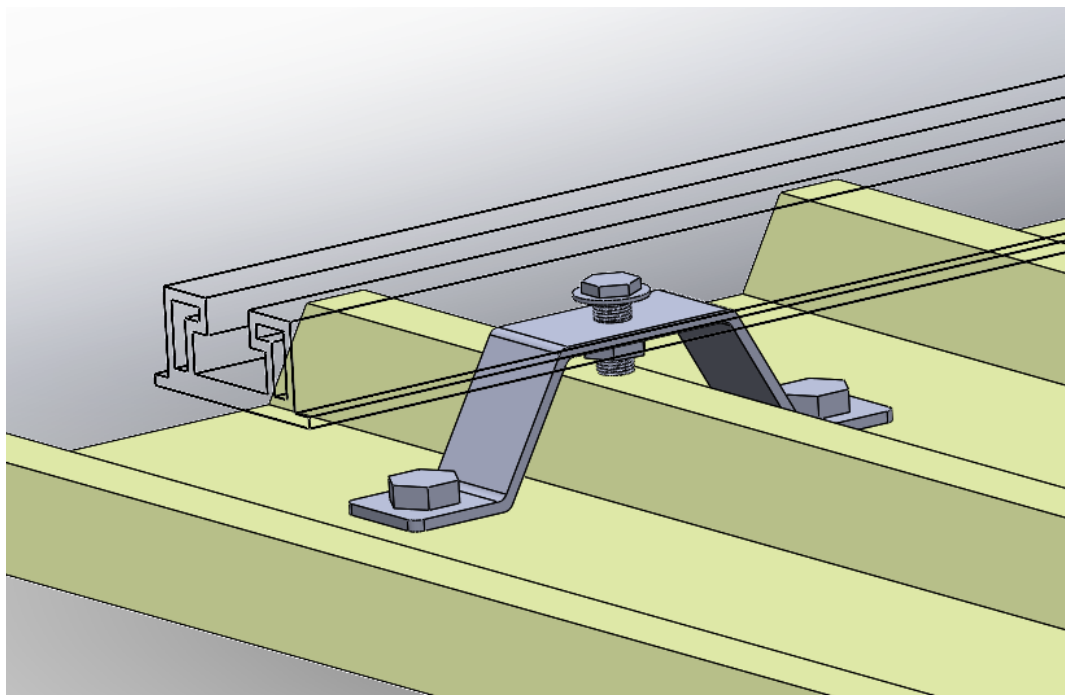


Figura 44. Detalle de ensamble del anclaje

5.4.5 Disposición del panel

Este es el subensamblaje final de la estructura que está comprendida por el panel, los perfiles y soportes con sus debidos ensambles previamente descritas en los otros subconjuntos.

Listado de componentes:

- a) Subensamblaje perfil y patas de soporte
- b) Panel solar

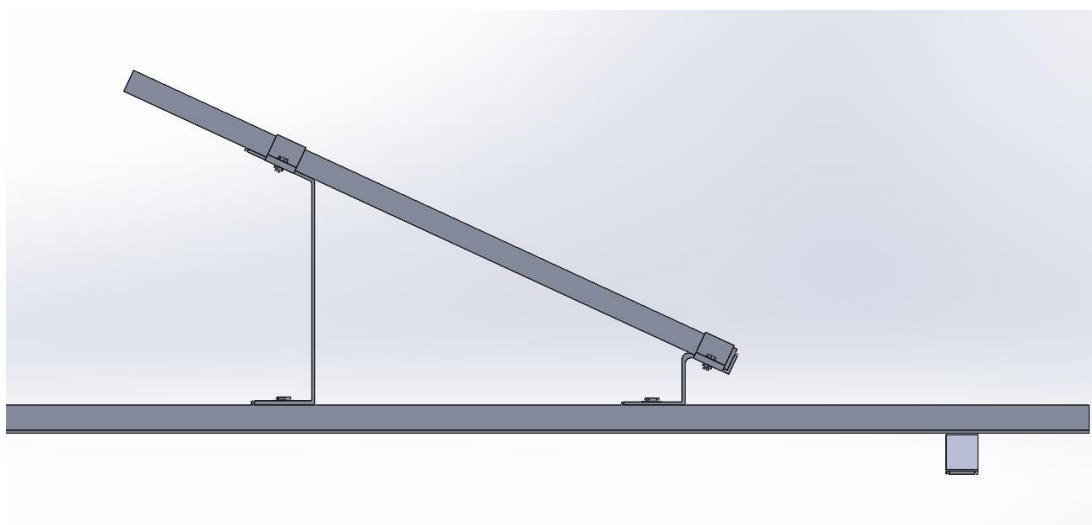


Figura 45. Subensamblaje panel, perfil y soportes

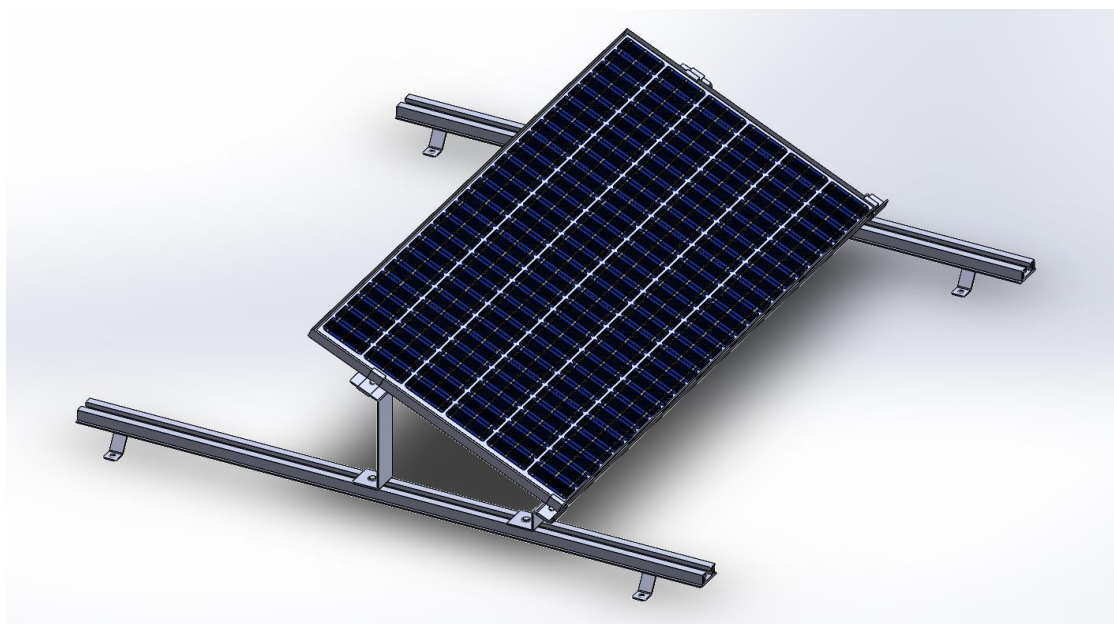


Figura 46. Disposición final de panel inclinado

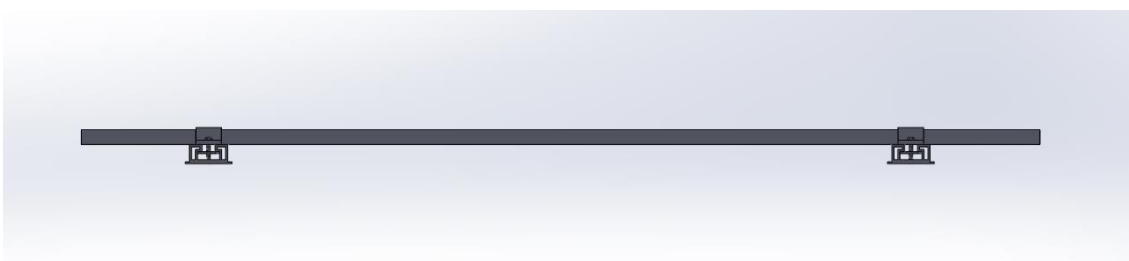


Figura 47. Vista lateral de un panel coplanar

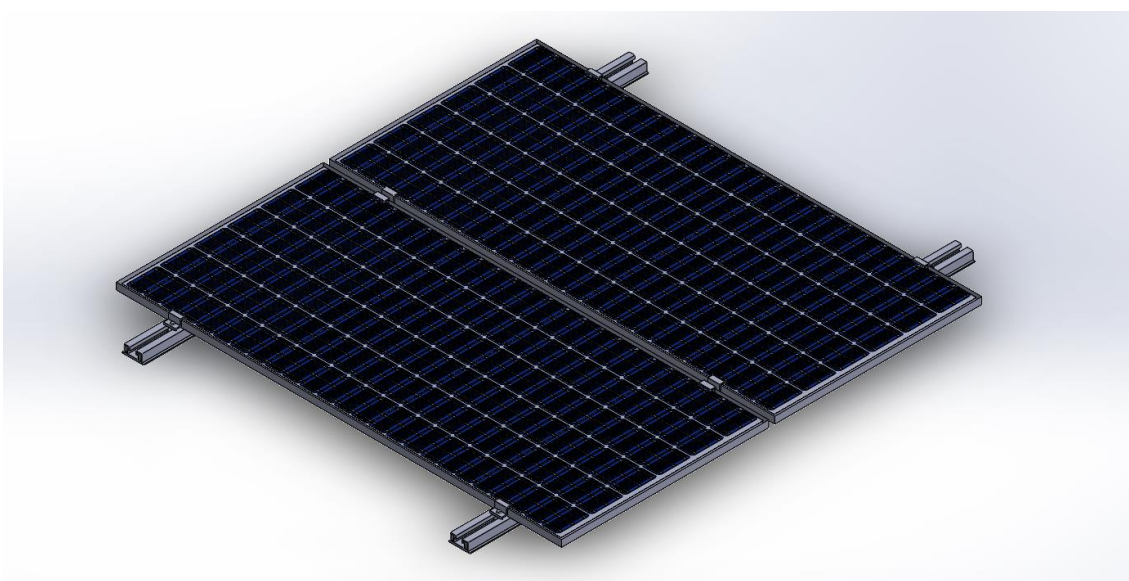


Figura 48. Disposición final panel coplanar

5.5 Diseño final

La disposición final del diseño de la estructura, que incluye todos los ensamblajes descritos anteriormente, en la respectivas uniones que se han dispuesto de tal manera que forman una estructura sólida y segura.

Este diseño fue creado para instalaciones de tamaño medio-grande, ya que permite la instalación de diferentes paneles manteniendo una distancia mínima de paneles entre ellos en función de su ángulo de inclinación. Las mismas líneas de carril pueden utilizarse para instalar distintos paneles, lo que simplifica el proceso de instalación y reduce la complejidad del diseño.

Es fundamental tener en cuenta que, aunque el diseño se ha calculado y se ha diseñado para que sea lo más preciso posible, siempre debe existir un margen de tolerancia y flexibilidad durante la instalación. Por lo tanto, es crucial que los instaladores sigan cuidadosamente las instrucciones y especificaciones de diseño para garantizar la seguridad y la estabilidad de toda la estructura.

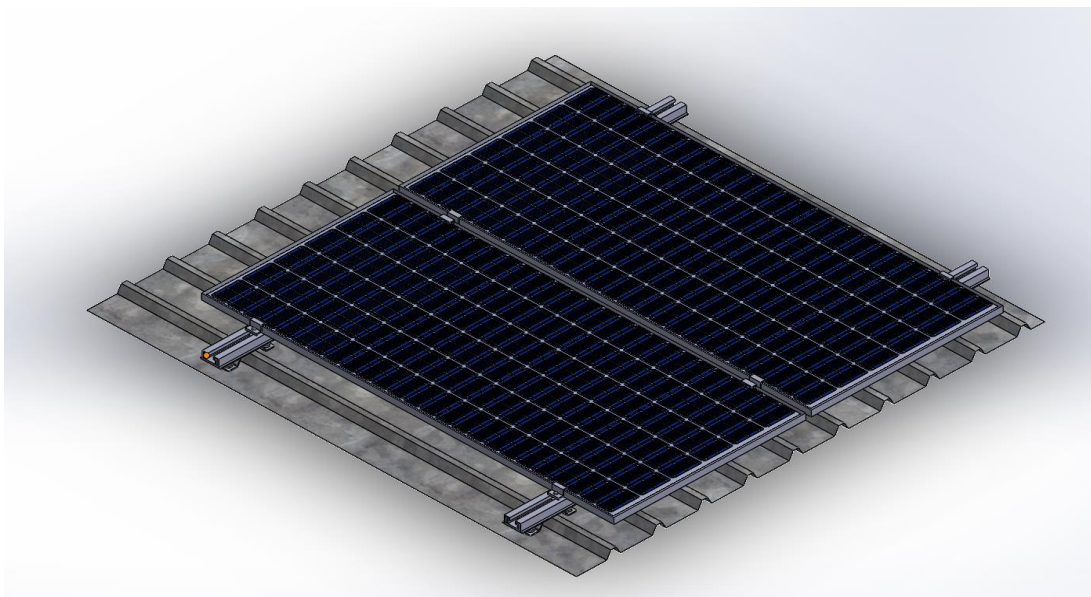


Figura 49. Ensamblaje final coplanar

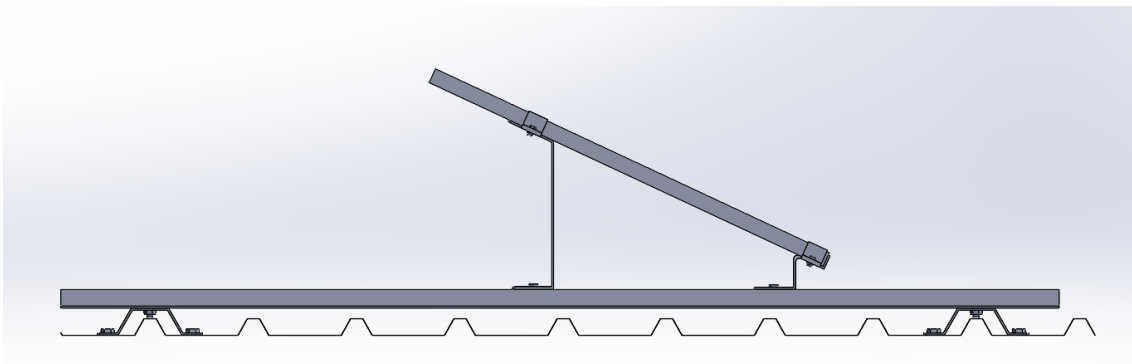


Figura 50. Vista lateral ensamblaje final inclinado

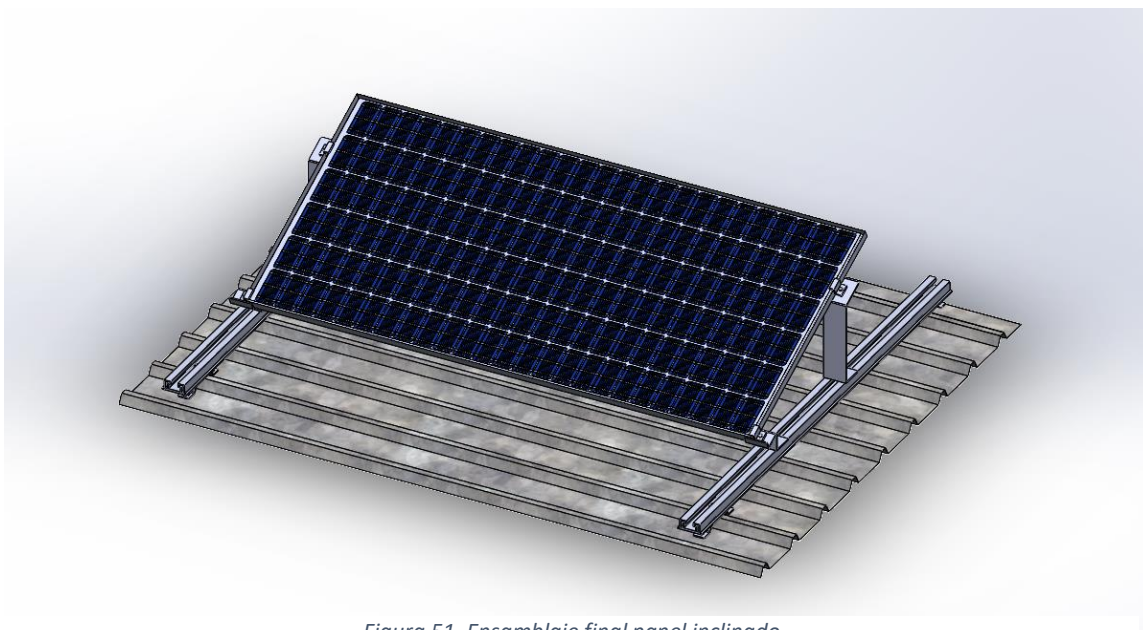


Figura 51. Ensamblaje final panel inclinado

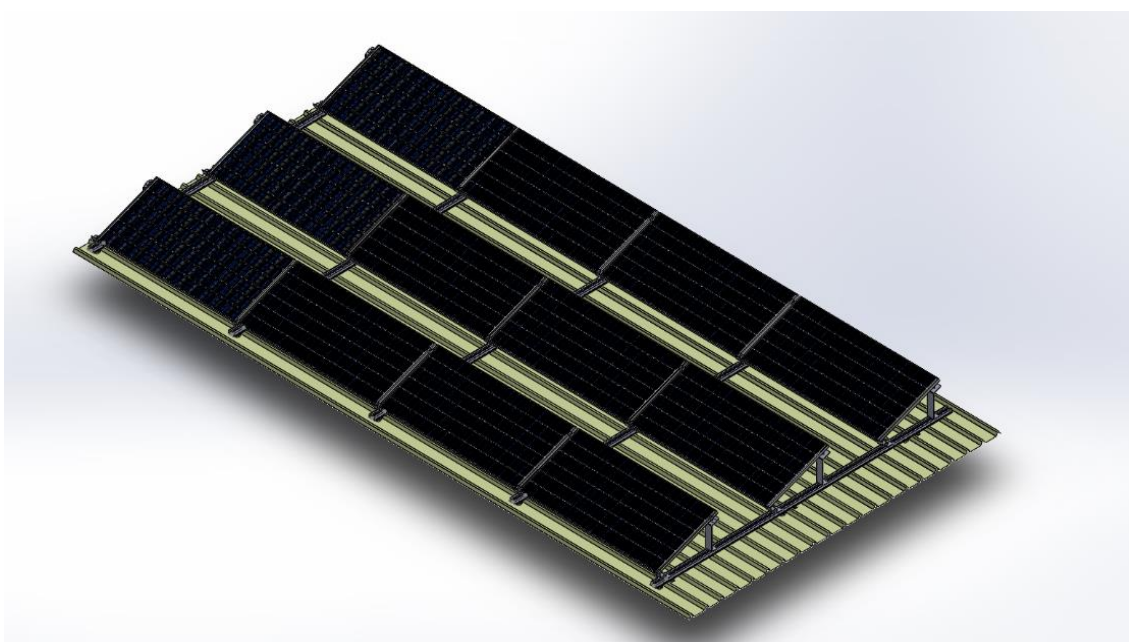


Figura 52. Disposiciones de los paneles inclinados

Capítulo 6. Análisis y justificación de cálculos para la instalación.

Antes de llevar a cabo la instalación, es fundamental realizar un análisis detallado y justificar los cálculos necesarios. En este apartado, se abordará el proceso de análisis y justificación de cálculos para una instalación fotovoltaica, donde se evaluarán diversos aspectos técnicos para un posterior análisis económicos.

Se realizarán cálculos detallados para comprobar que la estructura diseñada cumple con los estándares de seguridad y resistencia requeridos. Se tendrán en cuenta factores como la carga de viento, la carga de nieve y otros elementos externos que puedan afectar la estabilidad de la estructura.

También se realizará un exhaustivo análisis de los requerimientos energéticos del lugar, considerando factores como la demanda eléctrica, la radiación solar disponible y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Al realizar este proceso de manera rigurosa, se podrá asegurar la eficiencia energética, la viabilidad económica y la optimización del sistema fotovoltaico.

6.1 Inclinación de los paneles solares.

La inclinación de los paneles solares es un factor clave que influye de manera directa en el rendimiento y eficiencia de la instalación. En el cálculo de la inclinación óptima de los paneles solares, se hace uso de una fórmula basada en la teoría de la geometría solar para maximizar la cantidad de radiación solar que llega a la superficie del panel, esta misma varía según la estación del año.

A continuación, se describen unos puntos importantes a tener en cuenta al decidir la inclinación óptima de los paneles.

- **Latitud:** la latitud del lugar de la instalación es un factor crucial para determinar la inclinación más adecuada. La fórmula que se utiliza para saber el ángulo óptimo de inclinación está centrada en la latitud del lugar con valor de ajuste que va variar según la influencia de la temporada.
- **Estación del año:** como se mencionó en el apartado anterior, la fórmula de inclinación varía según la estación del año. La inclinación óptima es mayor en invierno que en verano, es por esto que según el tipo de instalación que se hará es muy importante considerar la estación del año.
- **Angulo de elevación del sol:** La inclinación de los paneles también debe tener en cuenta el ángulo de elevación del sol en la zona de la instalación puesto que cuanto en las regiones alejadas del ecuador el ángulo de elevación del sol es mayor por lo que la inclinación de los paneles cuanto más cerca del ecuador menor es el ángulo óptimo.

Tras describir los puntos importantes a tener en cuenta, se describe la siguiente fórmula:

$$\theta = \text{Latitud} \times 0,9 + \beta$$

Donde β es la constante que cambia según la estación del año siendo en verano $\beta = -23,5^\circ$ y en invierno $\beta = 29^\circ$ obteniendo como resultado $\beta_{\text{verano}} = 16,1^\circ$ y $\beta_{\text{invierno}} = 68,6^\circ$

En el caso de la instalación, se ha observado que la cubierta tiene una inclinación de 10 grados y se dividirá en dos campos. Es importante destacar que para maximizar la radiación en el campo Norte-Oeste, se ha decidido utilizar una estructura inclinada con una inclinación de 25 grados.

Esta inclinación combinada de la estructura y la cubierta es consistente con los valores calculados previamente de 16 grados en verano y 68 grados en invierno para la producción anual de la instalación. Esto significa que, sin necesidad de modificaciones posteriores, se espera que la instalación opere eficientemente durante todo el año y produzca la cantidad de energía necesaria.

6.2 Distancia mínima entre filas de modulo.

La distancia entre filas es un factor crítica a considerar al diseñar la disposición de los paneles solares, esta distancia mínima depende de varios factores, como la longitud del panel, la inclinación, las condiciones climáticas y la latitud.

Es importante calcular la distancia mínima entre las filas para maximizar la eficiencia de los paneles solares, cuando los paneles están demasiado cerca pueden producirse sombras que afectarían significativamente la producción y también la circulación de aire puede verse comprometida provocando un aumento de la temperatura de los paneles. Por otra parte, si los paneles están demasiados separados se pierde espacio valioso y pudiendo aumentar el costo de la instalación, es por esto que es importante tener un equilibrio entre la conversión eficiente y la utilización efectiva del espacio.

La fórmula para saber la distancia mínima entre la fila de los paneles viene dada por la siguiente expresión:

$$d = k * h$$

$$k = \frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$$

$$h = d * \text{sen}(\alpha)$$

Donde:

- “k” es un coeficiente en función de la latitud
- “h” es la altura máxima de la sombra
- “d” longitud del panel
- “ α ” el ángulo de inclinación

Calculando algunos de los valores del coeficiente k, en función de la latitud de la zona se pueden obtener los siguientes valores:

Latitud	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°
k	1,962	2,145	2,356	2,605	2,904	3,271	3,732

Tabla 2. Coeficientes “k”

Sabiendo que la instalación se encuentra a una altitud de 40° y la longitud de los paneles es de 1,048 m puesto que se colocarán de manera horizontal podemos calcular la siguiente tabla de las distancias mínima para distintos ángulos de inclinación.

Inclinación "α"	altura "h"	coeficiente "k"	distancia "d" (m)
5	0,091	2,605	0,236
10	0,181	2,605	0,470
15	0,269	2,605	0,701
20	0,356	2,605	0,927
25	0,440	2,605	1,145
30	0,520	2,605	1,355

Tabla 3. Distancias mínima según inclinación

Según la información proporcionada en la tabla anterior, se puede extraer que para la instalación que se llevará a cabo, se requerirá una distancia mínima de 1,15 metros debido a que se utilizará una inclinación de 25 grados. Esta información es crucial para garantizar que la instalación se realice de manera efectiva y evitar cualquier posible problema de sombra.

6.3 Secciones de cableado

Para determinar la sección mínima de los conductores, se empleará el criterio de la caída de tensión máxima admisible. Esto garantiza que los conductores tengan una sección adecuada para prevenir caídas de tensión y sobrecalentamiento, evitando así posibles problemas eléctricos.

Para calcular las secciones adecuadas de los cables, es conveniente dividir el circuito en dos grupos: el tramo de corriente continua y el tramo de corriente alterna. Esta división nos permite evaluar las particularidades de cada tramo y determinar las secciones óptimas para garantizar el correcto flujo de la corriente eléctrica y evitar pérdidas de energía.

6.3.1 Tramo Corriente continua

Se empleará un cable de cobre recocido y estañado, del tipo Z1H2H2-K, con una tensión de servicio de 0,6/1kV. Este cable se caracteriza por ser no propagador de incendios y tener una emisión de humos y opacidad reducida. Además, su rango de temperaturas soporta hasta 120°C.

Para asegurar un funcionamiento adecuado, los conductores tendrán una sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior al 1,5%, incluso considerando una máxima corriente transportada incrementada en un 25%.

La caída de tensión, que se presenta en una línea de corriente continua, despreciando la inducción de la línea y teniendo en cuenta la potencia conocida, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V = \frac{\rho I L_t}{S}$$

Donde:

- “ ρ ” es la resistividad del cobre
- I es la corriente máxima que pasara por el conductor
- S es la sección del cable
- ΔV es la caída de tensión

En un sistema de paneles solares, la corriente que recorrerá por cada rama será la misma corriente que viene dada en la ficha técnica del panel, en este caso, es de 10,81A. El conductor que se empleará para conectar los paneles será el cable que viene incluido en el panel, con una sección de 4 mm².

Para calcular la tensión de la rama en un sistema de paneles solares, se utilizan ciertas ecuaciones que relacionan la corriente, la resistencia y la tensión. Por otro lado, para calcular la longitud interpaneles, se emplean fórmulas que toman en cuenta la distancia entre los paneles y el número de paneles. Las fórmulas que se usaron para el cálculo de estos valores son:

$$V = V_{panel} \cdot N$$
$$L = 2 \cdot d \cdot N$$

Donde:

- “ V ” es el voltaje en voltios.
- “ d ” es la distancia del cable del propio panel en metros.
- “ N ” es el número de paneles por rama.

Se utilizará las fórmulas descrita anteriormente para calcular la caída de tensión en varios puntos del sistema. Específicamente, se aplicará para determinar la caída de tensión entre paneles, la caída de tensión entre las ramas, la caída de tensión entre los extremos de las ramas y la caída de tensión entre la caja de protección de las ramas y el inversor. Los resultados de estos cálculos se mostrarán en una tabla que incluirá los valores correspondientes para cada punto mencionado. De esta forma, se podrá tener un registro detallado de la caída de tensión en diferentes puntos del sistema, lo que facilitará la identificación de posibles problemas o puntos débiles en el mismo.

Para la caída de tensión entre paneles los valores para cada rama son los vistos en la *Tabla 4*.

CAIDA DE TENSION ENTRE PANELES						
MPPT/ ENTRADA	N.º PANELES	LONGITUD INTERPANELES (m)	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (I)	SECCION (mm ²)	CAIDA DE TENSION
1.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
1.2	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
2.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
2.2	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
3.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
3.2	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
4.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
4.2	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
5.1	12	16,8	528,0	10,81	4	0,195%
5.2	12	16,8	528,0	10,81	4	0,195%
6.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
7.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
8.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
9.1	15	21	660,0	10,81	4	0,20%
10.1	12	16,8	528,0	10,81	4	0,195%

Tabla 4. Caída de tensión entre paneles

Se calculo la caída de tensión de la rama desde los paneles a la caja de protección, los valores obtenidos están representado en la *Tabla 5*.

CAIDA DE TENSION DESDE LAS RAMAS A LA CAJA DE STRING							
MPPT/ ENTRADA	LONGITUD ORIGEN	LONGITUD DESTINO	TENSIÓN	CORRIENTE	TOTAL	SECCION	CAIDA DE TENSION
1.1	65	55	660,0	10,81	120	6,00	0,74%
1.2	54	44	660,0	10,81	98	6,00	0,61%
2.1	56	48	660,0	10,81	104	6,00	0,65%
2.2	47	39	660,0	10,81	86	6,00	0,53%
3.1	41	29	660,0	10,81	70	6,00	0,43%
3.2	40	30	660,0	10,81	70	6,00	0,43%
4.1	32	25	660,0	10,81	57	6,00	0,35%
4.2	47	12	660,0	10,81	59	6,00	0,37%
5.1	24	14	528,0	10,81	38	6,00	0,29%
5.2	16	6	528,0	10,81	22	4,00	0,26%
6.1	60	50	660,0	10,81	110	6,00	0,68%
7.1	54	52	660,0	10,81	106	6,00	0,66%
8.1	40	32	660,0	10,81	72	6,00	0,45%
9.1	35	24	660,0	10,81	59	6,00	0,37%
10.1	21	13	528,0	10,81	34	4,00	0,40%

Tabla 5. Caída de tensión desde las ramas a la caja de string

Para la caída de tensión de la unión de las ramas se puede observar la *Tabla 6* con los valores obtenidos.

CAIDA DE TENSION UNIÓN DE RAMAS					
MPPT/ ENTRADA	LONGITUD ENTRE FILAS (m)	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (I)	SECCION (mm²)	CAIDA DE TENSION
1.1	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
1.2	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
2.1	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
2.2	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
3.1	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
3.2	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
4.1	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
4.2	3	660,0	10,81	6,00	0,02%
5.1	3	528,0	10,81	6,00	0,0233%
5.2	3	528,0	10,81	6,00	0,0233%
6.1	15	660,0	10,81	6,00	0,09%
7.1	15	660,0	10,81	6,00	0,09%
8.1	15	660,0	10,81	6,00	0,09%
9.1	15	660,0	10,81	6,00	0,09%
10.1	15	528,0	10,81	6,00	0,12%

Tabla 6. Caída de tensión unión de ramas

Como cálculos finales de caída de tensión se buscará la caída de tensión de la caja de protecciones al propio inversor, donde se observarán en la *Tabla 7*.

CAIDA DE TENSION DESDE LA CAJAS DE STRING AI INVERSOR							
CAJA DE STRING	LONGITU D ORIGEN	LONGITUD DESTINO	TENSIÓN	CORRIENT E	TOTAL	SECCIO N	CAIDA DE TENSION
1.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
1.2	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
2.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
2.2	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
3.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
3.2	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
4.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
4.2	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
5.1	21	21	528,0	10,81	42	10,00	0,20%
5.2	21	21	528,0	10,81	42	10,00	0,20%
6.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
7.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
8.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
9.1	21	21	660,0	10,81	42	10,00	0,16%
10.1	21	21	528,0	10,81	42	10,00	0,20%

Tabla 7. Caída de tensión caja de protección al inversor

Una vez obtenida la caída de tensión en cada etapa del circuito eléctrico, es necesario sumar todas las caídas de tensión para determinar la caída total del circuito. Este proceso de sumar las caídas de tensión se realiza para asegurarse

de que la sección del conductor utilizado sea el más óptimo y cumpla con la medida de seguridad de que la caída total no debe superar un 1,5%.

RESUMEN DE CAIDAS DE TENSION					
RAMAS	CDT1	CDT2	CDT3	CDT4	TOTAL
1.1	0,20%	0,02%	0,74%	0,16%	1,11%
1.2	0,20%	0,02%	0,61%	0,16%	0,98%
2.1	0,20%	0,02%	0,65%	0,16%	1,02%
2.2	0,20%	0,02%	0,53%	0,16%	0,90%
3.1	0,20%	0,02%	0,43%	0,16%	0,80%
3.2	0,20%	0,02%	0,43%	0,16%	0,80%
4.1	0,20%	0,02%	0,35%	0,16%	0,72%
4.2	0,20%	0,02%	0,37%	0,16%	0,74%
5.1	0,20%	0,02%	0,29%	0,20%	0,71%
5.2	0,20%	0,02%	0,26%	0,20%	0,67%
6.1	0,20%	0,09%	0,68%	0,16%	1,13%
7.1	0,20%	0,09%	0,66%	0,16%	1,10%
8.1	0,20%	0,09%	0,45%	0,16%	0,89%
9.1	0,20%	0,09%	0,37%	0,16%	0,81%
10.1	0,20%	0,12%	0,40%	0,20%	0,90%

Tabla 8. Caída de tensión total

Una vez obtenida la caída de tensión total para cada rama del circuito eléctrico, se puede comprobar que las secciones elegidas cumplen con la necesidad de garantizar un voltaje suficiente en las cargas conectadas del circuito al no superar el 1,5% de caída de tensión total.

6.3.2 Tramo Corriente alterna

Se empleará un cable flexible de cobre de clase 5, con aislamiento termoplástico de poliolefina sin halógenos y tensión nominal de 0,6/1 kV, conforme a la norma UNE 21102 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RBT) en España. El cable cumplirá con las especificaciones de ser libre de halógenos, no propagador de incendios, no emisor de humos tóxicos, no emisor de humos opacos y no emisor de humos corrosivos.

Para garantizar una caída de tensión inferior al 1,5%, los conductores tendrán una sección suficiente considerando la máxima corriente que transportan incrementada en un 25%, tal como indica la normativa RBT ITC 40. En sistemas trifásicos, se seguirá el anexo II de la guía técnica de aplicación del RBT para determinar la sección adecuada de los conductores, que se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{c \cdot \rho \cdot I \cdot L}{\Delta U}$$

Donde:

- “ ΔU ” es la máxima caída permitida.
- “ L ” es la longitud del cable.
- “ I ” es la corriente máxima total que produce el inversor por fase.
- “ ρ ” es la resistividad del conductor.

- “c” es el incremento de la resistencia alterna.

Los valores de los que se parten serian:

$$c = 1,02 ; \rho = 0,023 \Omega \text{ mm}^2/m ; I = 168,8A ; L = 25m ; \Delta U = 6V$$

Sustituyendo los valores de la instalación en la formula descrita previamente se obtiene que $S = 16,5 \text{ mm}^2$, sin embargo, según la normativa REBT ITC-19 nos indica que, para una corriente de 168,8A, la sección mínima del conductor debe de ser de 70 mm^2 .

Teniendo en cuenta las dos secciones previamente descrita, ante la elección se optará por la más restrictiva siendo esta la normativa RBT y se instalará un cableado para la corriente alterna de $S = 70 \text{ mm}^2$

6.4 Protecciones eléctricas.

- Protección general cuadro mando

Para seleccionar el magneto térmico adecuado, se debe calcular la corriente que circulará por cada fase del circuito utilizando la siguiente expresión:

$$I = P/V \cdot N$$

Obteniendo una corriente de $I = 144,92A$.

Sabiendo la corriente que circulara por fase, y la sección del conductor que se instalara se busca la corriente máxima admisible para la sección elegida segun la tabla ITC (*Figura 53*)

Sabiendo que se utilizara una sección de cable de 70mm^2 y con la categoría del cable B2.

$I_{\text{calculada}}$ 144,92A	\leq	$I_{\text{magnetotermico}}$ 160A	\leq	$I_{\text{Admisible}}$ 202A
-----------------------------------	--------	-------------------------------------	--------	--------------------------------

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR			2x XLPE o EPR			
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ¹⁾				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre ²⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ³⁾					3x PVC			2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR	
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁵⁾						3x PVC				3x XLPE o EPR ¹⁾	
G		Cables unipolares separados mínimo D ³⁾									3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR
		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
	150				236	260	278	310	338	363	404	525	
	185				268	297	317	354	386	415	464	601	
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				360	404	423	484	524	565	640	821	

Figura 53. Tabla ITC corriente admisible (Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, Reglamento electrotécnico para baja tensión, 2002)

También se comprueba que cumpla con la condición del ITC 40, que expresa que el cable debe de soportar la corriente máxima aumentada en un 25%.

$$160A \times 1,25 = 200A < 202 A$$

6.5 Calculo perdidas por orientación e inclinación.

En este apartado, se emplearán las siguientes fórmulas para obtener una valoración lo más aproximada de las mismas, asegurando una evaluación más detallada de los resultados.

$$\begin{aligned} \text{Perdidas (\%)} &= 100 [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \\ \text{Perdidas (\%)} &= 100 [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2] \quad \text{para } \beta < 15^\circ \end{aligned}$$

Dado que la instalación cuenta con paneles solares dispuestos en dos tipos de orientaciones e inclinaciones diferentes, resulta conveniente dividir el cálculo de pérdidas en dos campos distintos.

1) Campo fotovoltaico 1

Donde:

- “ β ” inclinación efectiva del panel que en este campo es de 10°
- “ α ” es el acimut que para este caso es de -67°
- “ ϕ ” es la latitud del lugar que es de $40,779$

Sustituyendo en la formula correspondiente tendríamos un valor de pérdidas de

$$Perdidas = 5,18\%$$

2) Campo fotovoltaico 2

Donde:

- “ β ” inclinación efectiva del panel que en este campo es de 25°
- “ α ” es el acimut que para este caso es de 23°
- “ ϕ ” es la latitud del lugar que es de $40,779$

Sustituyendo los valores sacamos un valor de:

$$Perdidas = 2,25\%$$

6.6 Producción estimada de energía

El cálculo preciso de la producción de energía de una planta solar es esencial para la optimización de su rendimiento y rentabilidad. Para realizar este cálculo, se utilizan diversas herramientas y metodologías, y una de las más eficaces es PVGIS, una herramienta interactiva desarrollada por la Comisión Europea que proporciona estimaciones precisas de la energía solar fotovoltaica en Europa y África que será la utilizada en este caso.

Para utilizar la herramienta PVGIS debemos utilizar ciertos parámetros que como seleccionar la ubicación geográfica en el mapa o ingresar las coordenadas GPS de la instalación, seleccionar el tipo de panel solar que utilizaremos, la inclinación y la orientación de la instalación, y otros parámetros relevantes.

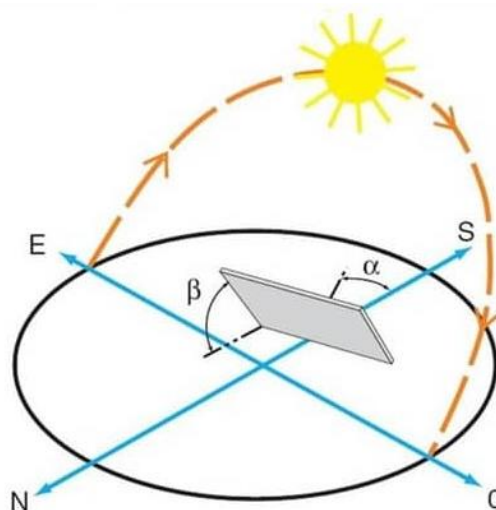


Figura 54. Inclinación y orientación paneles

Para el cálculo de la producción estimada de la planta fotovoltaica diseñada, se ha dividido la instalación en dos campos solares en función de sus inclinaciones y orientaciones. En el primer campo, los paneles solares se han instalado con una inclinación de 10 grados y azimut de -67 grados, y en el segundo campo, se han instalado con una inclinación de 25 grados y un azimut de 23 grados.

De esta forma los datos para el cálculo de cada campo fotovoltaico serán descritos en la *Tabla 9*.

	Campo 1	Campo 2
Coordenadas	40.786029, -4.433386	40.786066, -4.433504
Base de datos PVGIS	PVGIS-SARAH2	
Tecnología panel	Silicio cristalino	
Potencia pico (kWp)	68,4	34,2
Perdidas (%)	5,18	2,99
Inclinación (β)	10	25
Azimut (α)	-67	25

Tabla 9. Datos de los campos fotovoltaicos

Una vez ingresados los datos descritos en la tabla anterior, PVGIS nos proporcionará información detallada sobre la producción estimada de energía de nuestra instalación solar. Podremos ver la producción anual y mensual, así como la radiación solar incidente, la temperatura ambiente y otros factores que influyen en el rendimiento de la planta. La herramienta también nos permite visualizar los datos en gráficos y tablas para una mejor comprensión y análisis.

Los resultados correspondientes al campo 1 se reflejarán en los gráficos presentados en las *figuras 55 y 56*.

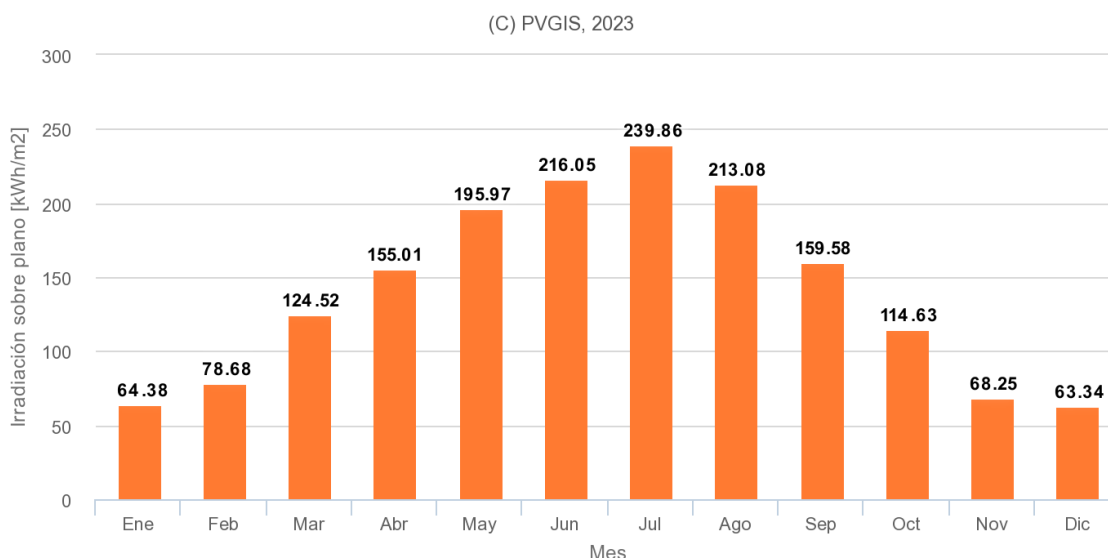


Figura 55. Irradiación mensual que recibe el campo 1

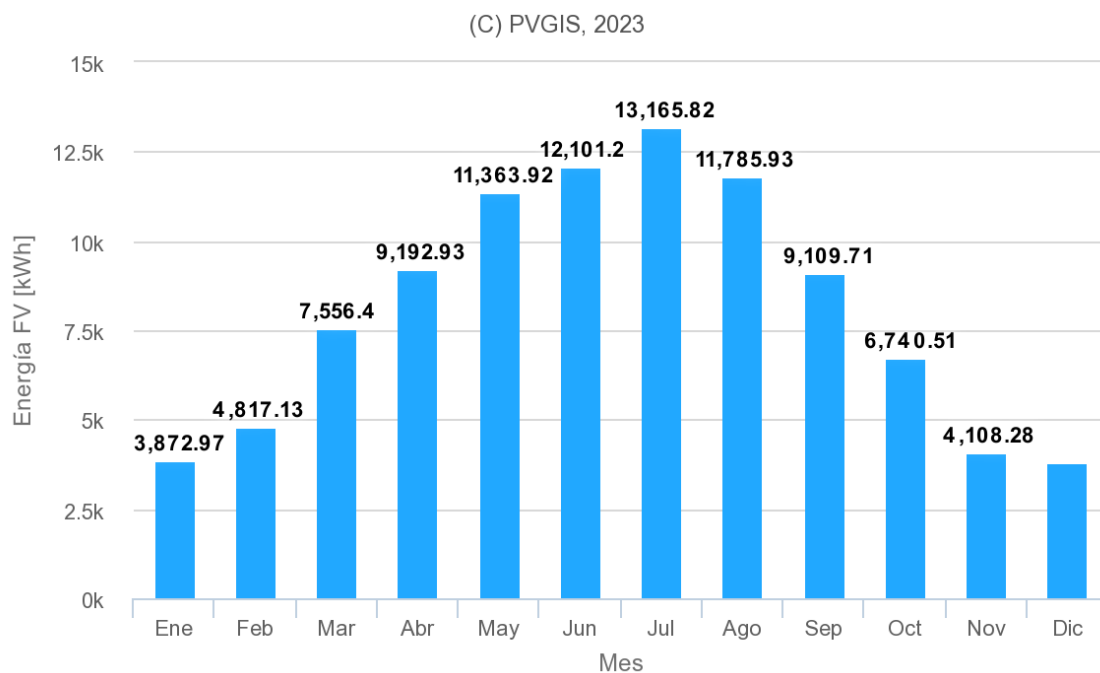


Figura 56. Producción de energía mensual campo 1

Teniendo para este campo fotovoltaico los valores totales estimados de producción e irradiancia sobre plano anual de 97601,85 kWh y 1693,35 kWh/m² respectivamente

Mientras que para el campo 2, los resultados pueden ser observados en las figuras 57 y 58.

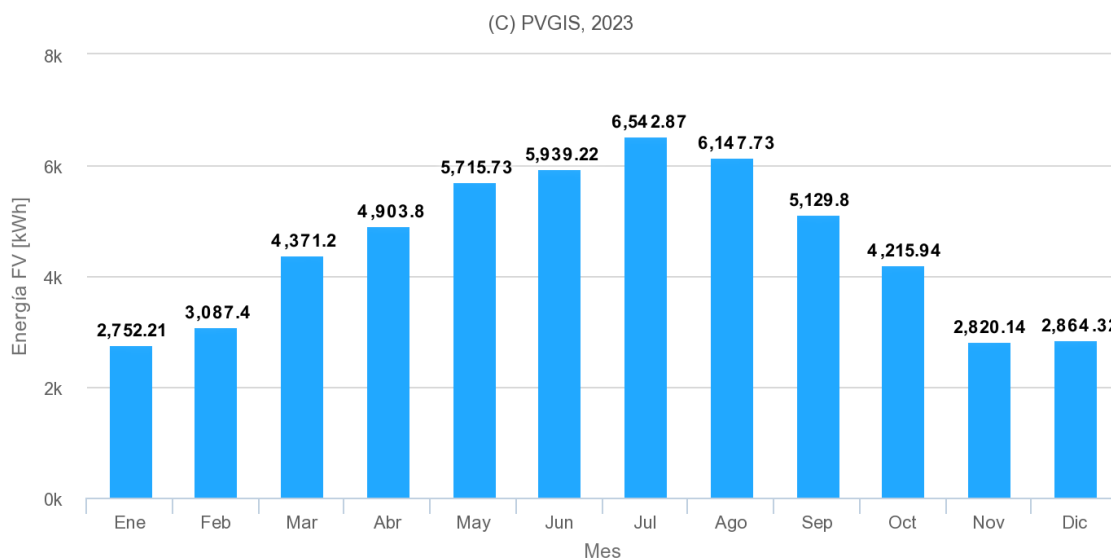


Figura 57. Producción de energía mensual campo 2

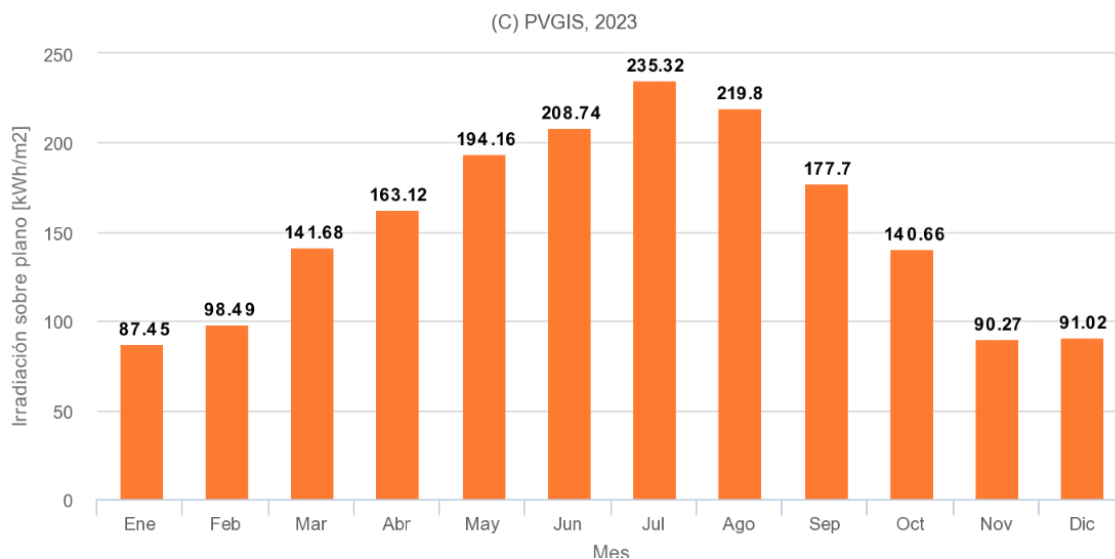


Figura 58. Irradiación que recibe el campo 2

Una vez que se han obtenido los valores para los dos campos fotovoltaicos, es posible determinar los valores finales simplemente sumando los dos entre sí. Esta suma dará como resultado los valores totales para el sistema fotovoltaico en cuestión, lo que permitirá evaluar su eficiencia y su capacidad de generar energía a lo largo del año.

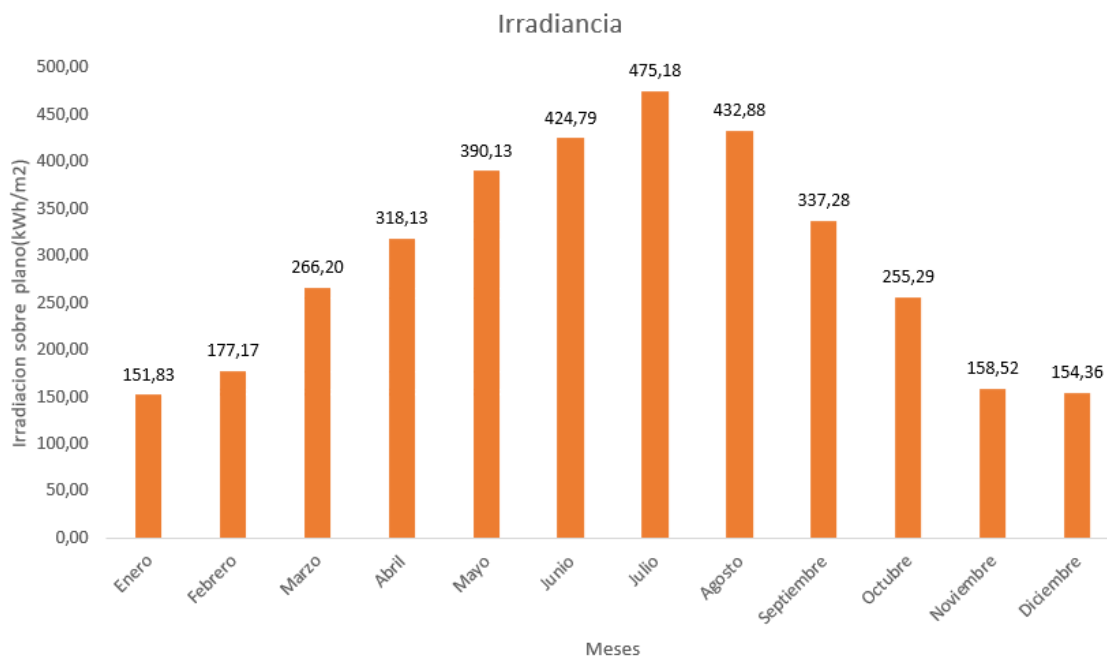


Figura 59. Irradiancia total del campo completo

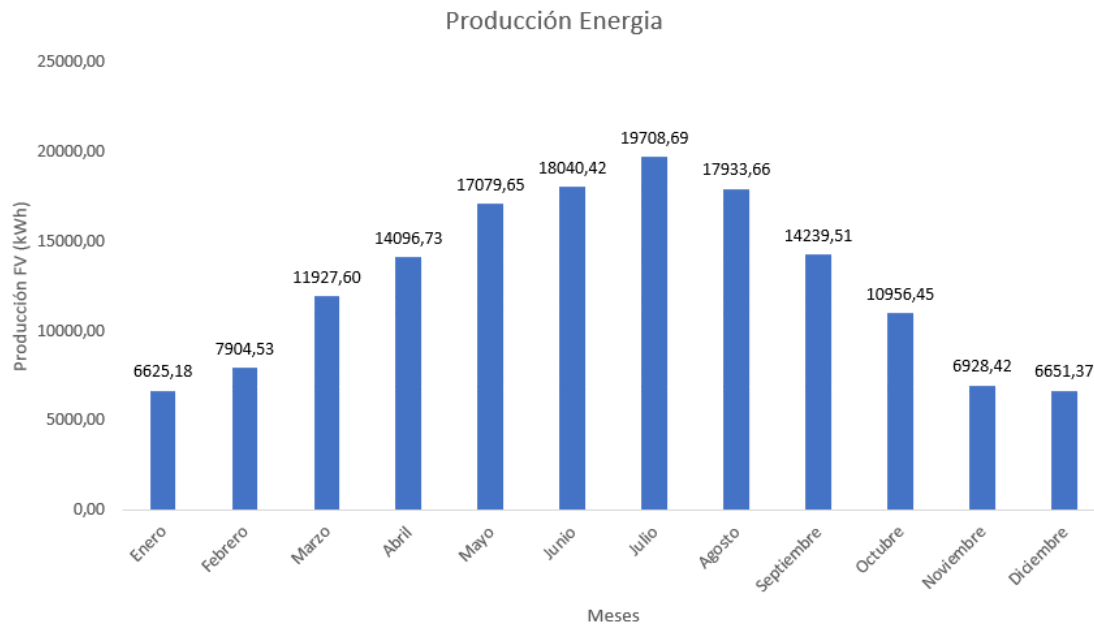


Figura 60. Producción de Energía del campo completo

Los valores totales de producción e irradiación sobre el plano han sido calculados y los resultados son los siguientes: la producción total es de 152.092,21 kWh, lo que indica la cantidad de energía generada por el sistema en un periodo de un año. Por otro lado, la irradiación total sobre el plano es de 3.541,76 kWh/m², lo que mide la cantidad de radiación solar que incide en la superficie del sistema fotovoltaico. Estos valores son esenciales para determinar la eficiencia y el rendimiento del sistema, y pueden utilizarse para optimizar su funcionamiento y mejorar su capacidad de generar energía limpia y renovable.

6.7 Determinación de las cargas sobre la estructura

- Carga constante

Para evaluar la transmisión de cargas hacia la estructura de anclaje de las placas solares, se tomará en cuenta únicamente el peso propio de los paneles como acción permanente. De esta manera, se podrán determinar los efectos que dicha carga tiene sobre la estructura y garantizar su estabilidad.

Para determinar la magnitud de la presión que ejerce el peso del panel sobre la superficie de anclaje, se empleará la información proporcionada en la ficha técnica del panel solar. Además, se utilizará una fórmula simple de física.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{Peso panel} \cdot \text{Gravedad}}{\text{Superficie panel}}$$

Sustituyendo los valores nos da una magnitud de:

$$\frac{25,7 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2}{(2,252 \times 1,048) \text{ m}^2} = 106,72 \text{ Pa}$$

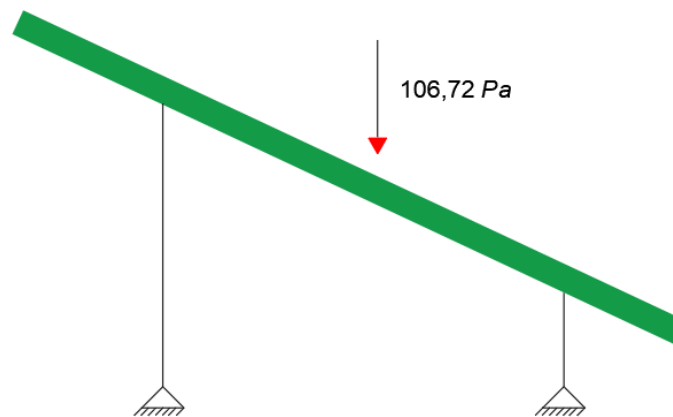


Figura 61. Vector presión por peso propio

- Cargas variables.
 - 1) Viento.

La carga variable del viento que actúa sobre un panel solar inclinado depende de varios factores, como la velocidad del viento, la densidad del aire y el ángulo de inclinación del panel.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) en España establece la siguiente fórmula para calcular la carga variable del viento en un panel solar inclinado que se aplica únicamente a paneles solares inclinados con una pendiente entre 5 y 45 grados.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$
$$q_z = 0,5 \cdot \delta \cdot V_b^2$$

Donde:

- q_e es la presión del viento
- q_b es la presión dinámica del viento (Pa), depende de la zona.
- δ es la densidad del aire ($1,25 \text{ kg/m}^3$)
- V_b es la velocidad de diseño del viento (m/s), que también depende de la ubicación.
- C_e es el coeficiente de exposición del panel.
- C_p coeficiente de presión.

Para los valores dependiente de la ubicación geográfica se consultarán los anexos del CTE correspondientes a la zona de la instalación que se puede ver en la *figura 62*.



Figura 62. Velocidad del viento segun la zona (DBSE-AE, s. f.)

Teniendo la instalación en Villacastín, Segovia la zona donde incide es la zona A por lo que $V_b = 26 \text{ m/s}$

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura 63. Coeficiente de exposición (DBSE-AE, s. f.)

Para el caso de estudio, la zona de la instalación es en una cubierta de una nave industrial en polígono industrial que se encuentra una zona casi no urbanizada es por esto que para el grado de aspereza del entorno considerado es la zona III, y con una altura de 12 metros, sabiendo la zona y la altura donde estará la instalación tenemos que el factor de exposición es de $C_e = 2,5$

Para el valor del coeficiente de presión será a partir de la tabla D.10 Marquesinas a un agua del CTE SE-AE

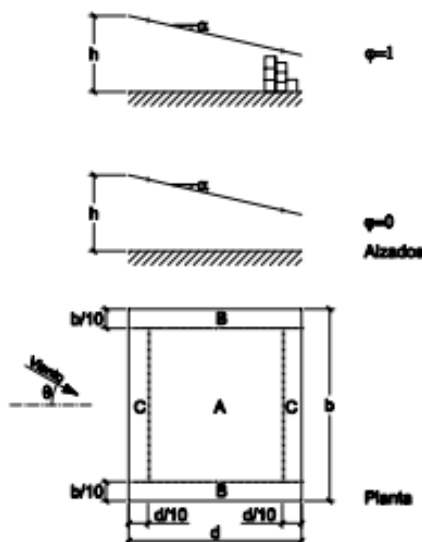


Figura 64. Marquesina a un agua CTE (DBSE-AE, s. f.)

Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Coeficientes de presión exterior		
			$C_{p,10}$		
			Zona (según figura)		
			A	B	C
0°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,5	1,8	1,1
	Arriba	0	-0,6	-1,3	-1,4
	Arriba	1	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,8	2,1	1,3
	Arriba	0	-1,1	-1,7	-1,8
	Arriba	1	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,2	2,4	1,6
	Arriba	0	-1,5	-2,0	-2,1
	Arriba	1	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,4	2,7	1,8
	Arriba	0	-1,8	-2,4	-2,5
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,7	2,9	2,1
	Arriba	0	-2,2	-2,8	-2,9
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,0	3,1	2,3
	Arriba	0	-2,6	-3,2	-3,2
	Arriba	1	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,2	3,2	2,4
	Arriba	0	-3,0	-3,8	-3,6
	Arriba	1	-1,5	-2,2	-2,7

Figura 65. Coeficiente de presión (DBSE-AE, s. f.)

Se considerará de manera más desfavorable el efecto del viento hacia arriba, con un factor de obstrucción de $\varphi = 0$ con el ángulo de inclinación de 25° y sabiendo que la instalación está en la zona A, se tiene un coeficiente de presión de $C_p = -2,6$

Con todos los datos y sustituyendo en la fórmula inicial se obtiene como resultado final:

$$q_z = 0,5 \cdot \delta \cdot V_b^2 = 0,5 \times 1,25 \times 26^2 = 422,5 \text{ N/m}^2$$
$$q_e = q_b \cdot C_d \cdot A = 422,5 \times 2,5 \times (-2,6) = 2746,25 \text{ N/m}^2 = \mathbf{2746,25 \text{ Pa}}$$

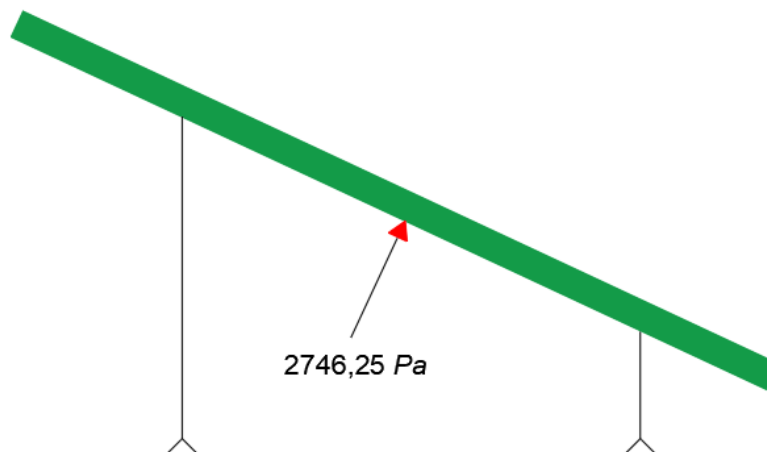


Figura 66. Vector presión del viento

2) Nieve

Para el cálculo de la sobrecarga de nieve se siguió el anejo E del CTE SE-AE para determinar el valor de este, con la siguiente expresión

$$q_n = \mu \cdot S_k$$

Donde:

- μ es el coeficiente de forma.
- S_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno.

El apartado 3.2.3 de la norma establece que si una cubierta tiene una inclinación igual o inferior a 30° y no hay obstáculos que impidan el deslizamiento de la nieve, el valor del coeficiente de forma es de 1.



Figura 67. Zona climáticas de invierno (DBSE-AE, s. f.)

Altitud (m)	Zona de clima invernal. (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Figura 68. Sobrecarga de nieve en un terreno (DBSE-AE, s. f.)

Para el caso de estudio la zona de Villacastín, Segovia se encuentra a una altitud de 1005 m por lo que de manera practica se tomaran los valores de altitud de 1000m, y a su vez se encuentra en la zona por lo que el valor de la sobrecarga del terreno para la zona de la instalación es de $S_k = 1,2$

$$q_n = \mu \cdot S_k = 1 \times 1,2 = 1,2 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1200 Pa}$$

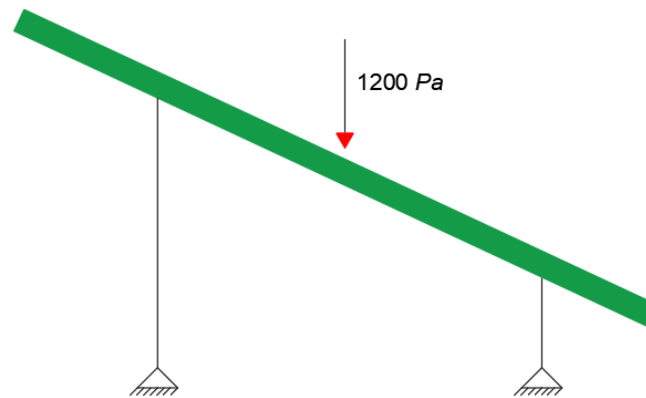


Figura 69. Vector sobrecarga de nieve

6.8 Análisis de los componentes de la estructura

6.8.1 Espesor óptimo de la estructura.

En el contexto del diseño de una estructura, es importante asegurarse de que las partes que soportan las cargas sean lo suficientemente fuertes como para resistir las fuerzas a las que estarán sometidas. Sin embargo, también es importante tener en cuenta que un exceso de material puede resultar en una estructura pesada e innecesariamente costosa. Es por eso que, en este proyecto, se utilizará el software ANSYS para simular distintos espesores de las patas diseñadas y encontrar el más óptimo en términos de seguridad y economía.

Para realizar una comparativa precisa de los resultados de la estructura, es importante tener en cuenta las fuerzas que se aplicarán durante el proceso de prueba. Por lo tanto, se partió del diseño y análisis de las fuerzas realizados en el apartado anterior, aplicado a las patas de soporte con el fin de simular las condiciones más desfavorable de uso. De esta manera, se pudo garantizar que los resultados obtenidos fueran lo más precisos y confiables posibles. Al considerar cuidadosamente las fuerzas involucradas, se pudo llevar a cabo una comparativa adecuada y obtener información valiosa sobre el rendimiento de la pieza en diferentes situaciones y condiciones de uso.

La *figura 70* es resultante de la simulación en ANSYS la cual permitirá visualizar claramente las fuerzas que afectan a la pieza y cómo se distribuyen a lo largo de la misma.

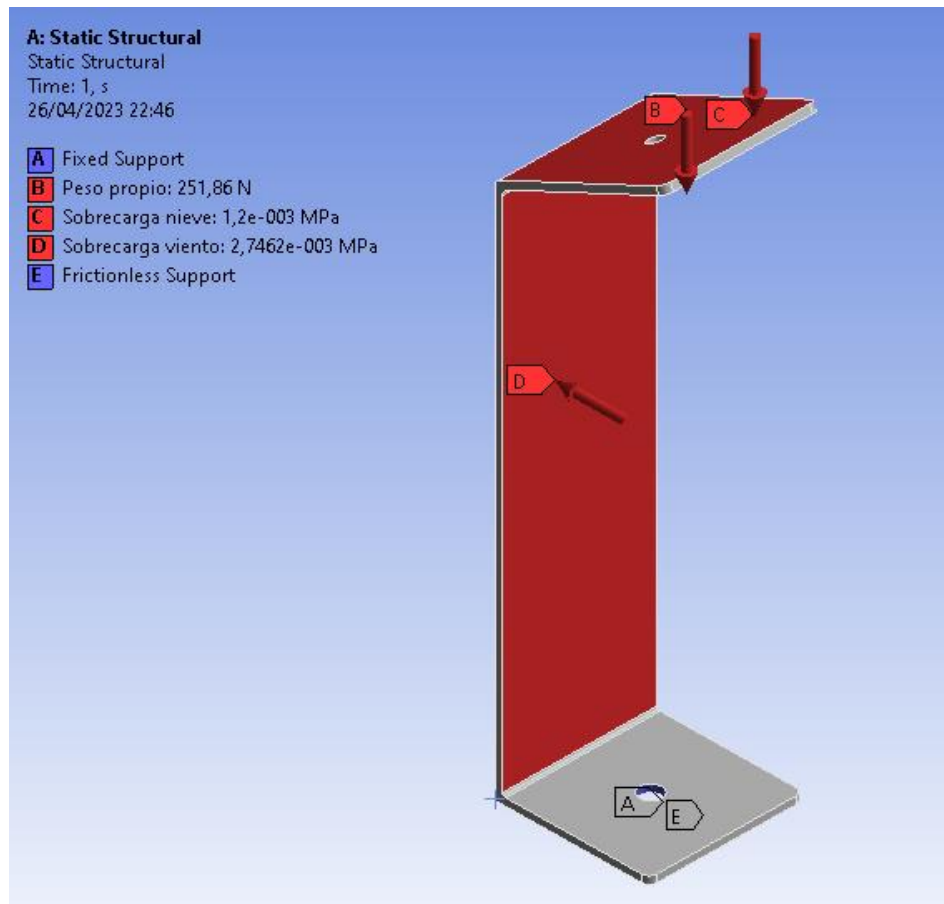


Figura 70. Definición de las fuerzas de la patas traseras

Una vez definidas las fuerzas que actuarán sobre la pieza, se realizará una simulación calculando la tensión equivalente de Von-mises, la deformación máxima y factor de seguridad para la comparación de estos valores con distintos espesores para encontrar el más óptimo.

Espesor (mm)	Tensión (Mpa)	Factor seguridad	Deformación (mm)
3	99,062	2,78	43,128
5	35,196	7,84	9,050
8	13,462	15	2,048
10	9,571	15	1,302

Tabla 10. Comparativa espesores

Después de revisar cuidadosamente la *Tabla 10*, se ha decidido elegir un espesor de 8 mm para la pieza en cuestión. Además de cumplir con los requisitos de seguridad, la elección de un espesor más delgado también puede tener un impacto significativo en el costo total del proyecto. Al reducir el material necesario, se puede reducir el costo de producción y, en última instancia, el precio final del producto. En este caso, la elección de un espesor de 8 mm permitirá un menor costo de producción sin comprometer la seguridad o la calidad de la pieza. En la *Figura 71*, *72*, y *73* se visualizan los resultados de manera más clara y concisa para el espesor de 8mm.

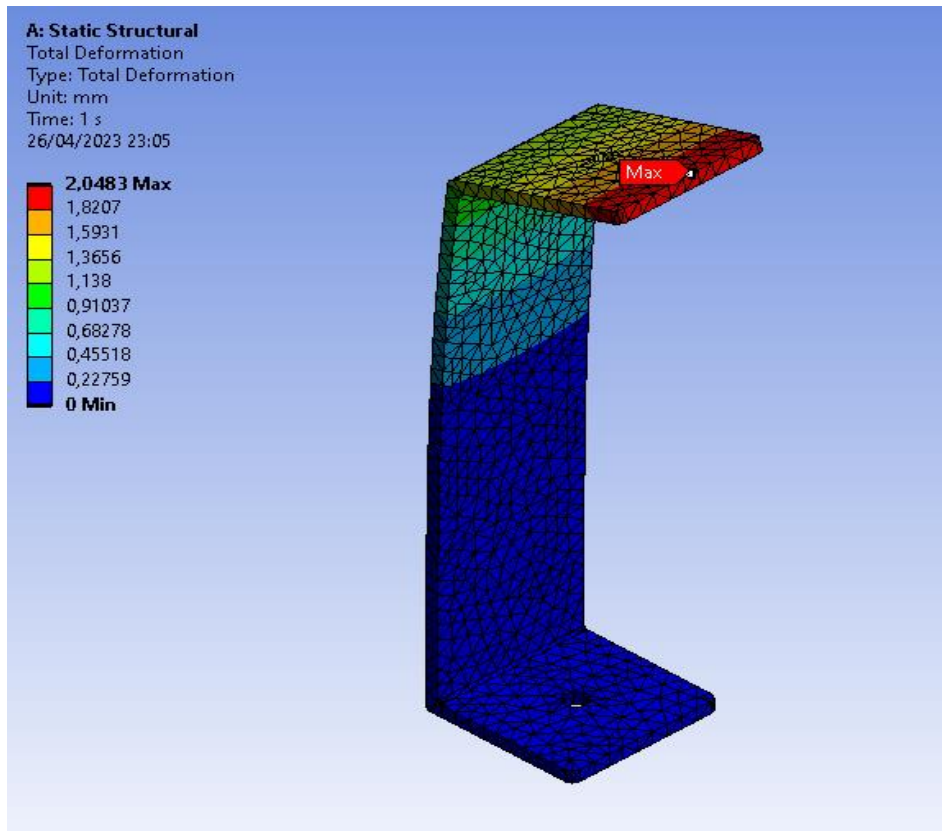


Figura 72. Deformación pata trasera 8mm

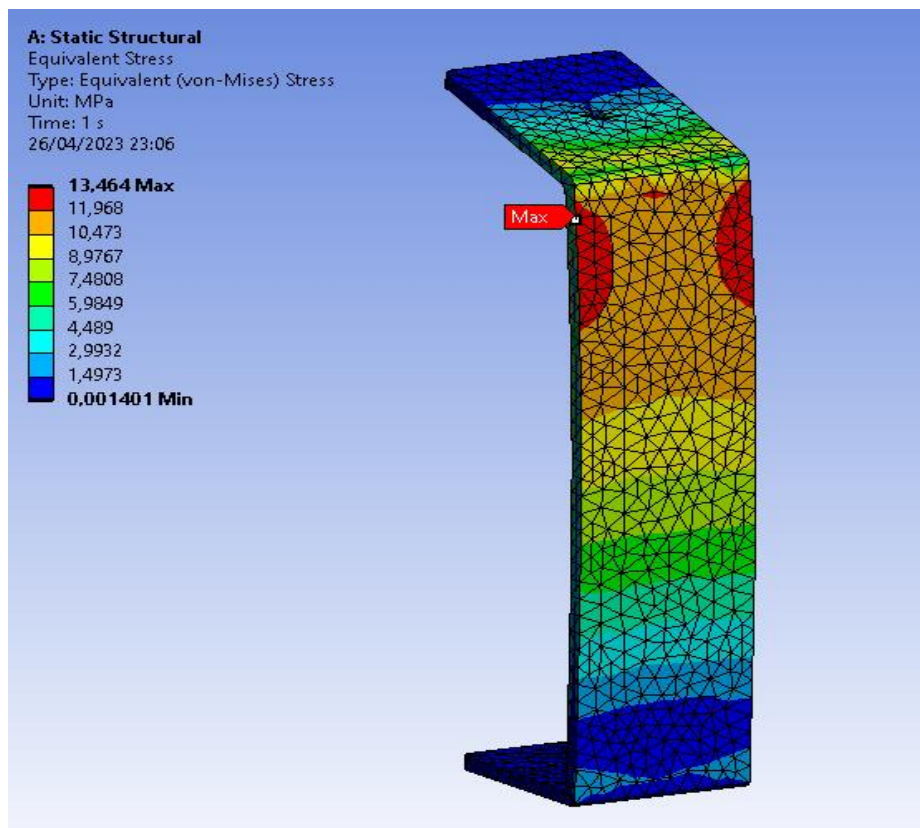


Figura 71. Tensión von-mises pata trasera 8mm

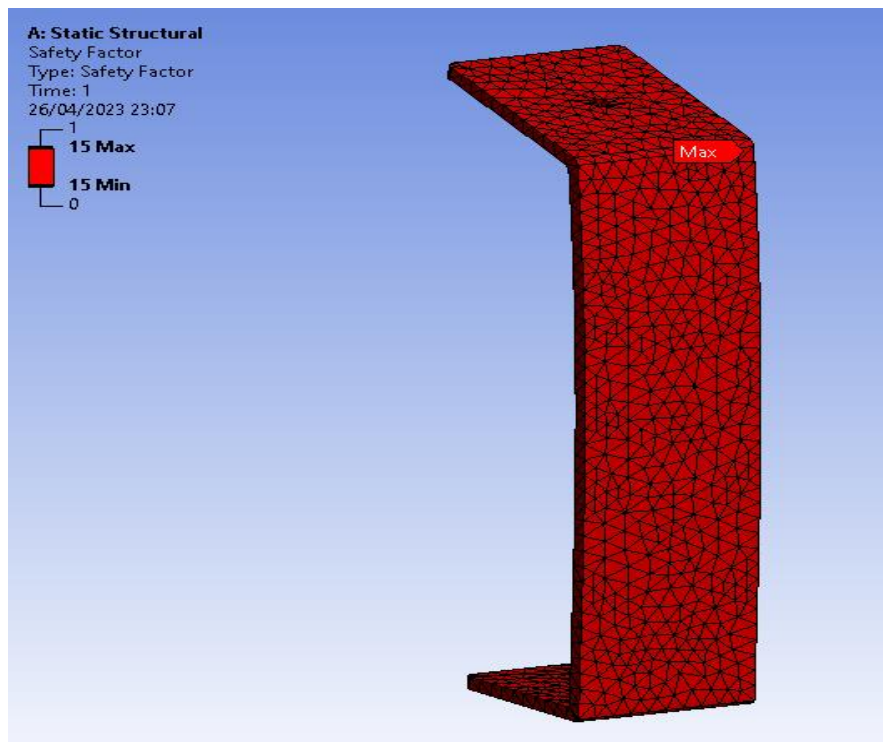


Figura 73. Factor de seguridad pata trasera 8mm

6.8.2 Simulación pata delantera

Se realizará una nueva simulación en ANSYS para evaluar la resistencia de la pata delantera bajo la peor condición posible a la que podría estar sometida, considerando los mismos esfuerzos descritos previamente. El objetivo de esta simulación es comprobar que la pata delantera también soportará las condiciones extremas a las que estará sometida durante su funcionamiento.

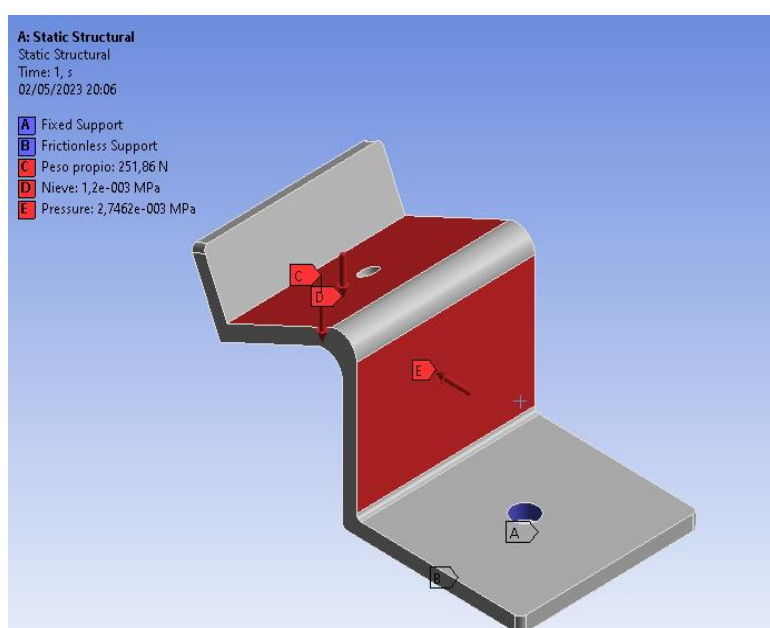


Figura 74. Fuerzas en la pata delanteras.

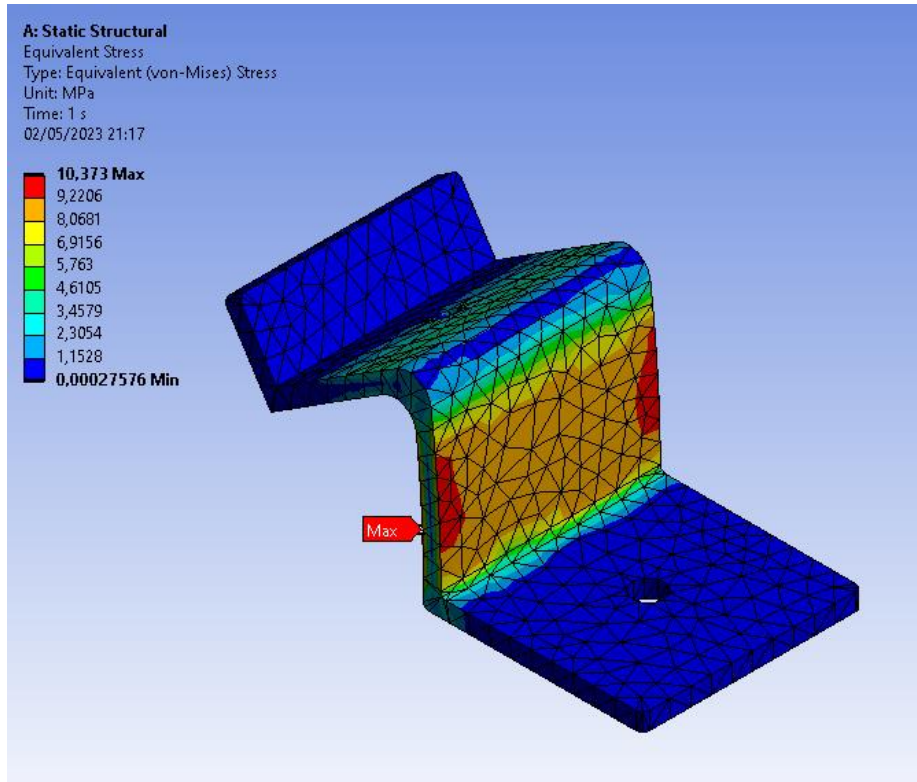


Figura 75. Tensión Von-Mises pata delantera

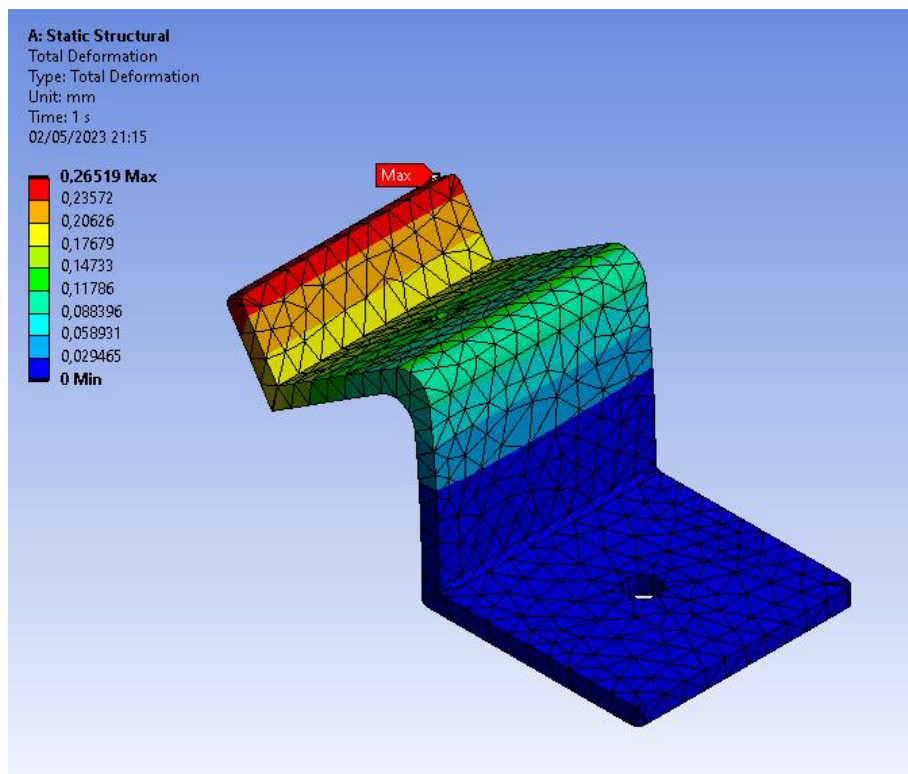


Figura 76. Deformación pata delantera

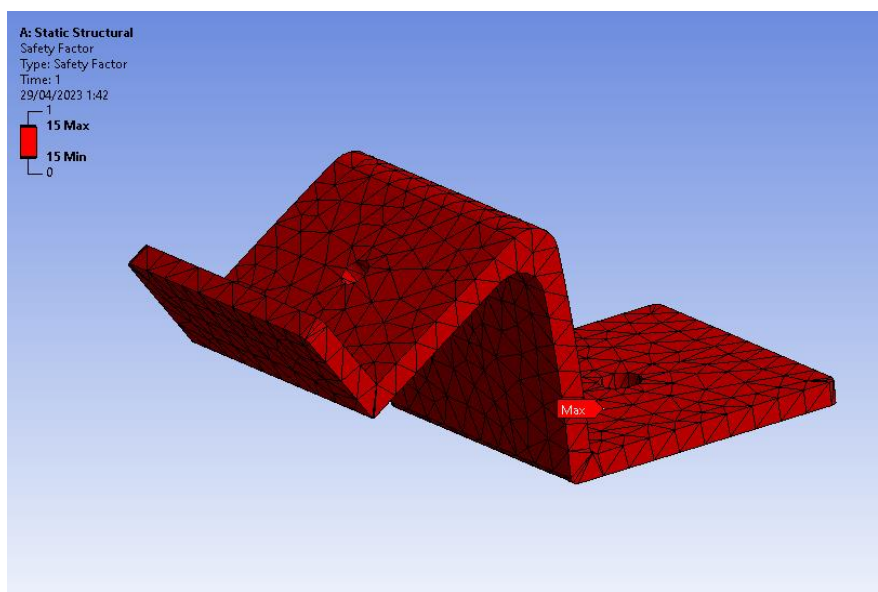


Figura 77. Factor de seguridad pata delantera.

Una vez realizada la simulación, se han obtenido los resultados que se pueden observar en la *Figura 75*, *76*, y *77* concluyendo que la pieza es capaz de soportar las fuerzas en el peor escenario posible

6.8.3 Subensamblaje pata delantera

Se realizará una simulación en ANSYS para el subensamblaje de la pata delantera, los componentes de este se observan en la *Tabla 11*.

N.º Uds.	Pieza	Material
1	Pata soporte trasera	Aluminio 6061-T6
1	Grapa final	Aluminio 6061-T6
1	Tornillo DIN 912 M10	Acero INOX
1	Tornillo DIN 912 M14	Acero INOX
1	Tuerca DIN 934 M10	Acero INOX
1	Arandela DIN 125 M10	Acero INOX
1	Arandela DIN 125 M14	Acero INOX

Tabla 11. Piezas y materiales subensamblaje pata delantera.

Para esta simulación del subensamblaje de la pata delantera, se realizará un método iterativo del mallado en ANSYS para encontrar el mallado más óptimo con el menor error posible. Este método consiste en ir refinando progresivamente el mallado hasta alcanzar una solución convergente con el menor error de cálculo posible. De esta manera, se obtendrán valores de simulación más precisos y óptimos, lo que permitirá comprobar de manera más fiable la capacidad de las piezas que conforman el subensamblaje de la pata delantera para soportar las condiciones a las que estarán sometidas en la aplicación final.

Iteración	N.º Elementos	Tensión (Mpa)	Error (mJ)
1	17721	39,972	0,124
2	23125	35,181	0,208
3	25518	33,504	0,331
4	14145	40,746	0,344
5	13706	40,558	0,614

Tabla 12. Iteración mallado ensamblaje pata trasera

Después de completar el proceso iterativo de optimización del mallado, se ha llegado a un punto en el que aumentar el la calidad del mallado no disminuye significativamente el error por lo que este será el considerado el mallado óptimo para la simulación.

Con el mallado ya optimizado, los resultados obtenidos en la simulación son mucho más precisos y confiables. Las tensiones máximas equivalentes y deformaciones obtenidas son consistentes con las condiciones de carga esperadas en la estructura. En la *Figura 78, 79 y 80* se puede ver una representación visual de los resultados obtenidos en la simulación.

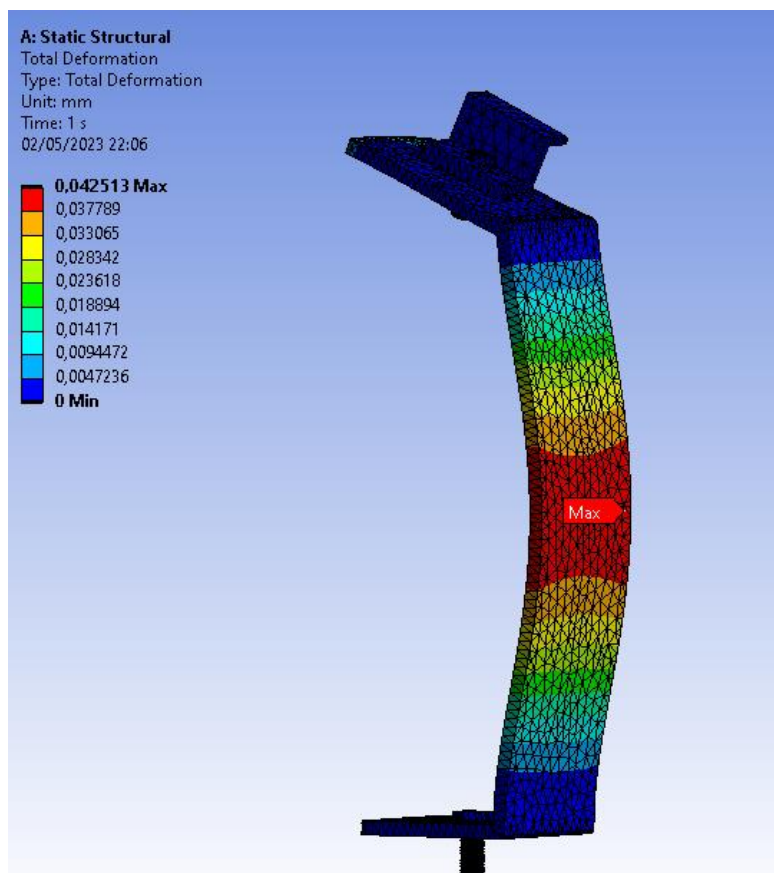


Figura 78. Deformación subensamblaje pata trasera.

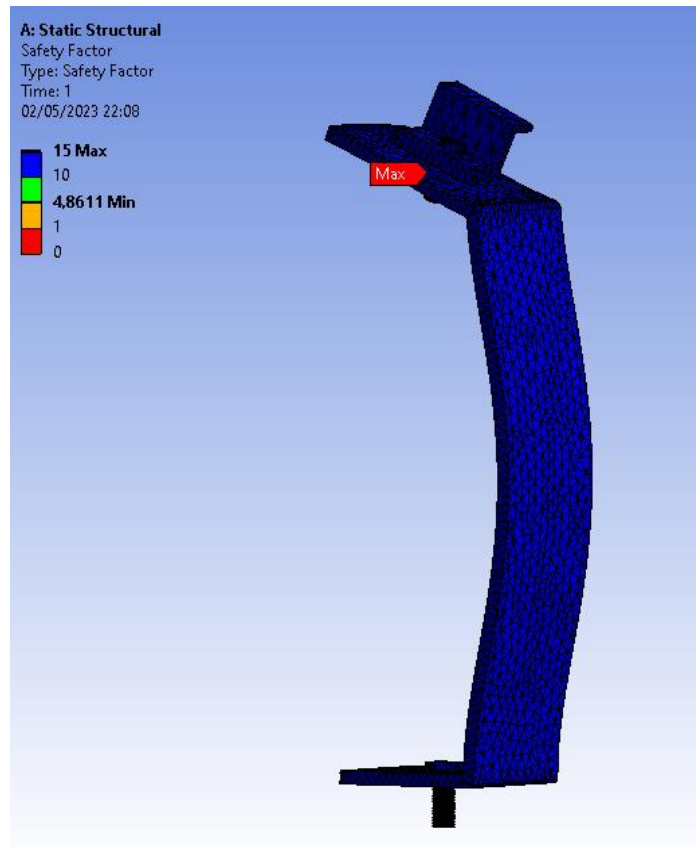


Figura 79. Factor seguridad subensamblaje pata trasera

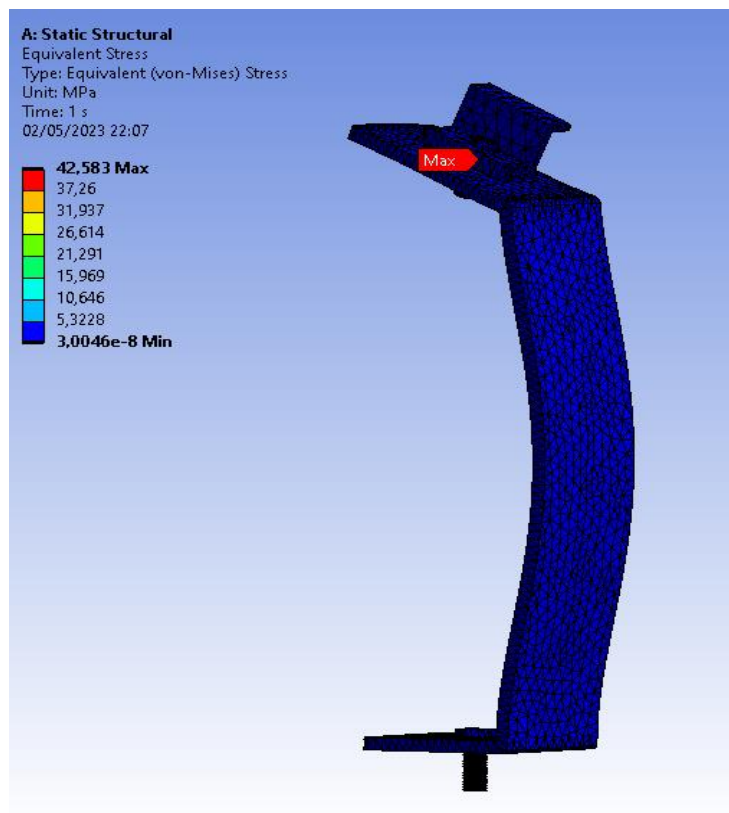


Figura 80. Tensión Von-Mises subensamblaje pata trasera

El análisis de esfuerzos ha demostrado que las piezas individuales y el subensamblaje en conjunto son capaces de soportar las cargas a las que estarán sometidas sin comprometer la integridad del sistema de soporte.

6.8.4 Ensamblaje de la estructura final

Para el ensamblaje final del panel inclinado se realizará el mismo proceso utilizado en el apartado anterior de optimización del mallado para obtener los valores de simulación más precisos. Se han aplicado las condiciones más adversas posibles para garantizar la resistencia de la estructura en las peores situaciones de uso.

Las piezas y materiales de la que está compuestas la estructura final están descritos en la *Tabla 13*

N.º Uds.	Pieza	Material
2	Pata soporte trasera	Aluminio 6061-T6
2	Pata soporte delantera	Aluminio 6061-T6
4	Grapa final	Aluminio 6061-T6
4	Tornillo DIN 912 M10	Acero INOX
4	Tornillo DIN 912 M14	Acero INOX
4	Arandela DIN 125 M10	Acero INOX
4	Arandela DIN 125 M14	Acero INOX
4	Tuerca DIN 934 M10	Acero INOX

Tabla 13. Piezas y materiales ensamblaje final.

Siguiendo la metodología utilizada previamente con el objetivo de optimizar los resultados obtenidos, se realizó una serie de iteraciones en las que se fue ajustando el parámetro del tamaño del mallado hasta alcanzar una convergencia en los resultados.

En cada iteración se evaluaron los valores obtenidos y se realizaron los ajustes correspondientes para continuar mejorando los resultados. La tabla de iteración muestra los valores obtenido en cada una de las iteraciones.

Iteración	Tamaño mallado	N.º Elementos	Tensión (Mpa)	Error (mJ)
1	20	141955	116,63	2,680
2	10	178684	71,914	1,889
3	5	202698	92,24	0,679
4	2	592498	127,97	0,571

Tabla 14. Iteración mallado ensamblaje final.

Este enfoque iterativo permitió obtener una mejora significativa en los resultados, asegurando la convergencia de estos y la optimización del proceso de mallado.

A continuación, se presenta en la *Figura 81, 82, 83 y 84* la simulación con los valores resultantes después del proceso de optimización del mallado.

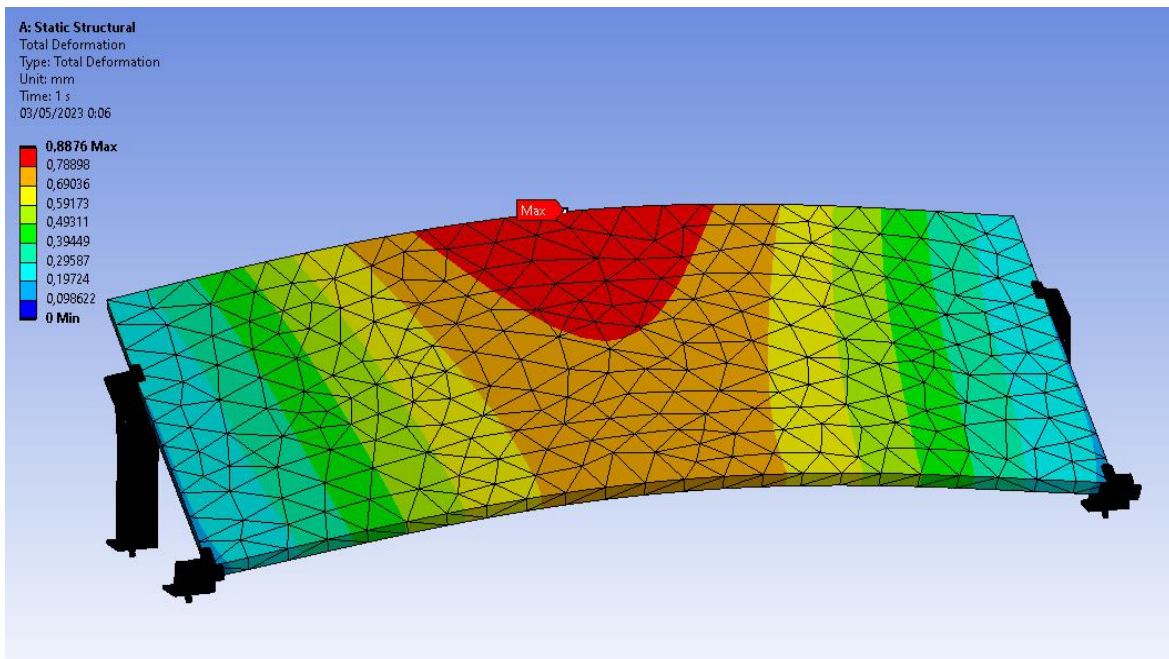


Figura 81. Deformación ensamble final

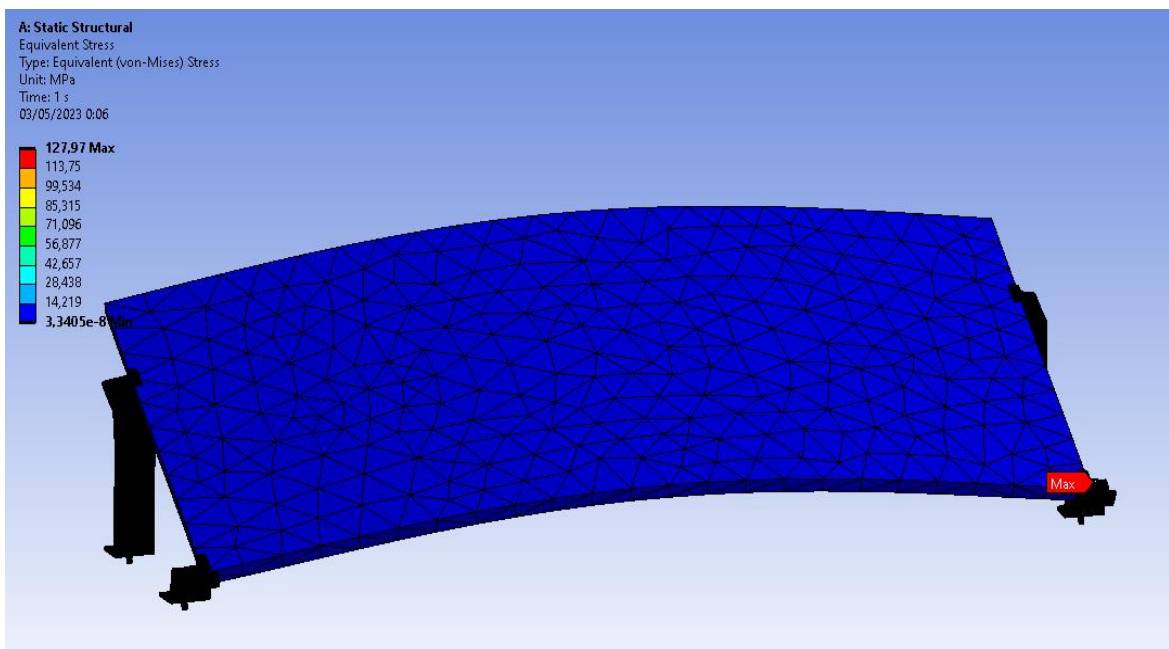


Figura 82. Tensión Von-Mises ensamble final

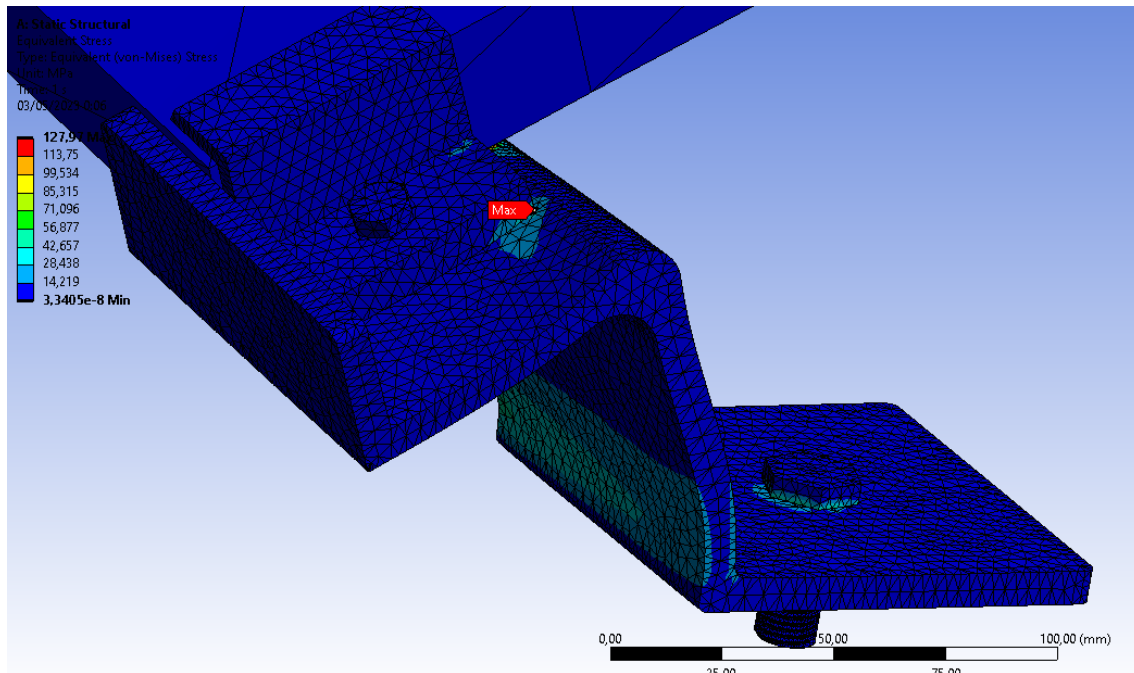


Figura 83. Detalle tensión Von-Mises ensamblaje final

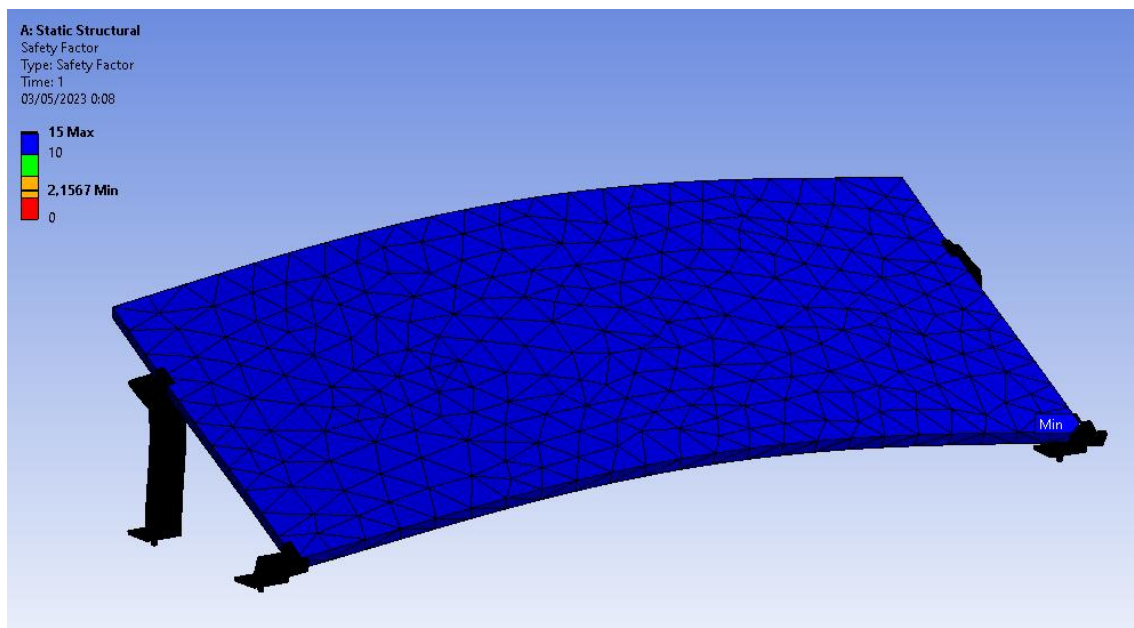


Figura 84. Factor seguridad ensamblaje final

Una vez finalizado el proceso de simulación, se han obtenido los valores de tensiones y deformaciones máximo en los puntos críticos. Los resultados obtenidos muestran que la estructura cumple con las especificaciones requeridas, garantizando su estabilidad y seguridad en las condiciones de uso previstas.

Capítulo 7. Pliego de Condiciones.

En este apartado del pliego de condiciones se establecerán las especificaciones técnicas y los requisitos para llevar a cabo la instalación fotovoltaica. Estos pliegos serán fundamentales para garantizar la calidad, fiabilidad y durabilidad del sistema, así como para establecer los criterios de diseño, suministro, instalación y puesta en marcha.

Además, se incluirán aspectos relacionados con la legislación vigente, normas de seguridad, equipos y materiales necesarios, procesos de mantenimiento y supervisión, y cualquier otra especificación técnica necesaria para la correcta ejecución del proyecto.

El presente pliego de condiciones se ha desarrollado de acuerdo con las mejores prácticas y estándares reconocidos en el campo de la energía solar fotovoltaica. Con el objetivo de garantizar la eficiencia y el rendimiento óptimo del sistema.

7.1 Consideraciones iniciales.

Considerando la importancia de cumplir con las normas y regulaciones establecidas para garantizar la seguridad y eficiencia en la instalación fotovoltaica, se presentan a continuación una serie de leyes aplicable a la instalación que deben tenerse en cuenta, teniendo como objetivo brindar un marco general que facilite la comprensión de los requerimientos legales que se deben cumplir en la instalación fotovoltaica. (Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, 2019)

- Real Decreto 1788/1991, de 20 de diciembre, por el cual se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación, entre ellas, adapta las exigencias de seguridad de las células y módulos fotovoltaicos. (*BOE, n. 307, de 24 de diciembre de 1991*)
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. (*BOE, n. 126, de 26 de mayo del 2007*)
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. (*BOE, n. 295, de 8 de diciembre 2011*)
- Resolución de 31 de mayo de 2001, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión. (*BOE, n. 148, 21 de junio del 2001.*)
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. (*BOE, n. 310, de 27 de diciembre del 2000*)
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. (*BOE, n. 285, de 28 de noviembre de 1997*)

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. (*BOE, n. 224, de 18 de septiembre del 2002*)
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. (*BOE, n. 269, de 10 de noviembre de 1995*)
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. (*BOE, n. 298, de 13 de diciembre 2003*)
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. (*BOE, n. 256, de 25 de octubre de 1997*)
- Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por lo que se adoptan medidas urgente como respuestas a las consecuencias generadas por la guerra de Ucrania (*BOE, n. 76, de 30 de marzo del 2022*)
- Real Decreto-ley 11/2022, de 25 de junio, se adoptan y a su vez se extienden medidas para hacer frente a situaciones de vulnerabilidad social y económica. (*BOE, n. 152, de 26 de junio del 2022*)
- Real Decreto-ley 14/2022, de 1 de agosto, de medidas sostenibilidad económicas en el ámbito de eficiencia energéticas y de reducción de la dependencia energética de gas natural (*BOE, n. 183, de 2 de agosto del 2022*)
- Real Decreto-ley 18/2022, de 18 de octubre, de medidas de refuerzo para la protección de los consumidores de energía y de contribución a la reducción del consumo de gas natural. (*BOE, n. 251, de 19 de octubre del 2022*)
- Real Decreto-ley 20/2022, de 27 de diciembre (*BOE, n. 311, de 28 de diciembre del 2022*)
- Ley 4/2021, de 1 de diciembre, de Medidas Administrativas Urgentes (*Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo (IDAE), 2023*) (Soria, s. f.)

Asimismo, se buscará respetar otras regulaciones, tales como las UNE de AENOR o las normas ISO de organismos internacionales. A continuación, se presentan las normativas que se implementarán en la instalación.

- UNE-EN 61643-31:2021. Dispositivos de protección contra sobretensiones de baja tensión. Parte 31: Requisitos y métodos de ensayo de los DPS para instalaciones
- fotovoltaicas. (UNE-EN 61643-31:2021 Dispositivos de protección contra sobrete..., s.f)
- Vigente/2021-03-31
- UNE-CLC/TS 51643-32:2020. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 32: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados al lado de la corriente continua de las instalaciones fotovoltaicas. Principios de selección y aplicación. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en octubre de 2020.)
- Vigente/2020-10-01

- UNE-EN IEC 63202-1:2020. Células fotovoltaicas. Parte 1: Medida de la degradación inducida por luz de células fotovoltaicas de silicio cristalino.
Vigente/2020-09-30
- UNE-HD 60364-7-712:2017. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 7-712: Requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación solar fotovoltaica (FV).
Vigente/2017-02-15
- UNE-EN 60269-6:2012. Fusibles de baja tensión. Parte 6: Requisitos suplementarios para los cartuchos fusibles utilizados para la protección de sistemas de energía solar fotovoltaica.
Vigente/2012-02-22
- UNE-EN 62920:2018/A11:2021. Sistemas de generación de energía fotovoltaica. Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) y métodos de ensayo para equipos de conversión de potencia.
Vigente/2021-06-09
- UNE-EN IEC 62790:2021. Cajas de conexión para módulos fotovoltaicos. Requisitos de seguridad y ensayos.
Vigente/2021-07-28
- UNE-EN IEC 61215-2:2021. Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación. Parte 2: Procedimientos de ensayo.
Vigente/2021-09-22

7.2 Descripción de la obra.

Materiales de Acero

Se utilizarán materiales de acero de alta calidad, que no presenten deformaciones, roturas u otros defectos. Para la estructura, se usará aluminio, que tiene la capacidad de soportar grandes cargas de viento. Toda la tornillería y acoplamientos serán de acero inoxidable. La estructura tendrá como función principal evitar cualquier movimiento en su base, lo que permitirá evitar daños tanto en los paneles como en la instalación.

Módulos

Los módulos serán entregados en caja de embalaje con protección de poliuretano y colocados en pallets para su transporte mediante una carretilla hidráulica. Posteriormente, serán transportados a la obra a través de una camión y descargados con una carretilla elevadores para su almacenamiento hasta el día de la instalación.

Para su almacenamiento, los paneles se depositarán sobre un suelo plano y bajo techo, en caso almacenamiento en exteriores, se cubrirán los pallets para protegerlos de la lluvia.

Antes de la instalación, se revisará detalladamente con el albarán de entrega para verificar que se hayan recibido todos los materiales solicitados y que no haya ningún problema. Esto garantizara que todo esté en orden para la ejecución de la obra.

Cableados de circuitos y otro elementos

Se utilizará cableado de alta calidad tanto para la parte de corriente continua como para la parte de corriente alterna, a fin de minimizar las pérdidas en la instalación. Todo el cableado deberá ser almacenado en un lugar protegido y seguro para evitar daños, de modo que se encuentre en perfectas condiciones el día de la instalación. Este material será transportado junto con los paneles y el inversor en el mismo envío.

Inversor

El material será entregado en una caja de embalaje con protecciones adecuadas para evitar daños durante el transporte. Será transportado junto con los módulos fotovoltaicos en el mismo vehículo, ya que su tamaño es mínimo y hay suficiente espacio en el camión para todo el material solicitado.

Para su almacenamiento, se colocará en el suelo en una ubicación cercana a su ubicación final.

Durante la instalación, se colocará en el cuarto designado para tal fin, situado cerca del cuadro general de la nave industrial y a una altura adecuada para una correcta ventilación del inversor. Además, se instalará un cuadro de protecciones junto al inversor para prevenir cualquier sobretensión y evitar problemas mayores en la instalación eléctrica de la nave.

7.3 Ejecución de la Obra.

7.3.1 Principios fundamentales.

El departamento de adquisiciones es responsable de obtener los bienes necesarios en el momento adecuado, con la cantidad y calidad requeridas, y a un precio razonable. En el pasado, esta función se delegaba a menudo a otros departamentos, especialmente al de producción, debido a la falta de importancia que se le daba.

Por otro lado, el proyecto establece que todas las obras se llevarán a cabo de acuerdo con las especificaciones detalladas en el mismo y bajo la supervisión de la dirección facultativa. El director de la obra tendrá la responsabilidad de realizar el replanteo de las instalaciones, determinando de manera precisa los puntos necesarios para la ejecución de la obra en colaboración con el contratista y de acuerdo con el proyecto.

Es obligación del contratista proporcionar todos los elementos necesarios para el replanteo y señalización, asegurándose de que las señales o datos estén precisos en todo momento. Si el contratista causa algún daño a las propiedades adyacentes, deberá reparar el daño a su cuenta y dejarlas en su estado original antes del inicio de las obras.

Finalmente, la construcción de la instalación solar se llevará a cabo utilizando materiales y procedimientos de alta calidad para garantizar su durabilidad, mantenimiento y eficiencia. Se deben seguir las especificaciones proporcionadas por los fabricantes de los componentes y las regulaciones aplicables en todo momento.

El proveedor tiene la responsabilidad de verificar que el edificio cumpla con los requisitos necesarios para soportar la instalación y debe indicarlo expresamente en la documentación. Asimismo, es su deber asegurar la calidad de los materiales y que se ajusten a lo especificado en las normas, evitando el uso de materiales incompatibles.

El proveedor también es responsable de la vigilancia de los materiales durante su almacenamiento y montaje, y debe tener especial cuidado con materiales frágiles y delicados.

Durante el montaje, el proveedor debe retirar todos los materiales sobrantes de trabajos anteriores, en particular retales de conducciones y cables. Finalmente, al finalizar la obra, el proveedor debe limpiar todos los equipos y materiales de suciedad, garantizar un grado mínimo de aislamiento eléctrico y asegurar la calidad del suministro eléctrico.

Además, es importante asegurar la protección de las personas y de la instalación, protegiendo los materiales de la intemperie y recubriendo los elementos metálicos con pintura antioxidante. Todo esto debe cumplir con la legislación vigente y estar en alguna de las lenguas españolas oficiales del lugar de la instalación.

Es importante que el funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas no provoque averías en la red, disminuciones de las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las permitidas por la normativa aplicable.

7.3.2 Estructura de los paneles

Se garantizará que el diseño y la construcción de la estructura y el sistema de sujeción de los módulos tengan en cuenta las dilataciones térmicas necesarias, evitando transmitir cargas que puedan comprometer la integridad de los módulos.

Se asegurará que el número de puntos de sujeción para los módulos fotovoltaicos sea adecuado en relación al área de soporte y a su posición relativa, evitando así flexiones en los módulos que excedan los límites permitidos establecidos por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.

La estructura estará fabricada en aluminio y se le aplicará un doble revestimiento antioxidante con el fin de prevenir la corrosión y el desgaste a lo largo del tiempo. La tornillería empleada cumplirá con la norma MV-106 y estará fabricada en acero inoxidable.

Se garantizará que la instalación permita un fácil acceso a los paneles, lo cual posibilitará su desmontaje individual en caso de rotura, minimizando así las intervenciones necesarias en los demás paneles.

La estructura de soporte fue diseñada y calculada conforme a la norma CTE-SE-AE, con el objetivo de resistir cargas extremas ocasionadas por condiciones

climáticas adversas, como viento, nieve, entre otros factores. De esta manera, se asegurará la máxima seguridad y durabilidad de la estructura frente a tales condiciones.

7.3.3 Canalizaciones y cableado.

Se implementarán las arquetas o cajas de conexión requeridas para realizar las conexiones eléctricas entre las diferentes partes de los circuitos, junto con las canalizaciones correspondientes, siguiendo las especificaciones establecidas en la normativa vigente del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RB-ELBT).

Las interconexiones entre los módulos de cada grupo se llevarán a cabo mediante cajas de conexiones herméticas ubicadas en cada módulo.

Se garantizará que los conductores positivos y negativos de cada grupo de módulos sean conducidos de manera separada y protegida de acuerdo con las regulaciones actuales.

Los conductores utilizados serán de cobre y tendrán una sección adecuada para evitar caídas de tensión y sobrecalentamiento excesivos. Para el cableado se asegurará que teniendo en cuenta las potencias y longitudes se tengan una sección suficiente para que la caída de tensión no supere el 1,5% tanto para la parte de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA).

El cableado de la corriente continua al ser utilizado en la intemperie contará con un doble aislamiento adecuado para la exposición del aire y sol, cumpliendo con lo establecido en la norma UNE 21123.

7.3.4 Protecciones.

Se instalarán dispositivos de protección contra sobretensiones adecuados en los puntos de conexión de la instalación, siguiendo lo establecido en la normativa vigente. Estos dispositivos deberán tener una capacidad de descarga suficiente y dimensionados para proteger los componentes de la instalación.

Se utilizarán dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecarga con interruptores automáticos y fusibles, en cada etapa de la instalación. Estos dispositivos estarán dimensionados y calibrados de acuerdo a las capacidad y corriente de cortocircuito de la instalación.

Se implementarán medidas de protección contra incendios, incluyendo sistemas de detección de humo y calor, extintores y sistemas de supresión de incendios, según lo requerido por las normativas locales y de seguridad contra incendios.

7.3.5 Conexión a red.

La instalación se realizará en modalidad de conexión a red, en la cual la energía generada se inyectará al sistema eléctrico de distribución.

Se seguirá el procedimiento establecido por el organismo regulador o distribuidor de energía local para solicitar y obtener la autorización de conexión a red. Se

designará un representante técnico encargado de coordinar y ejecutar los trámites y requerimientos necesarios para la conexión.

Se instalará un equipo de medición bidireccional aprobado por la empresa distribuidora de energía para medir la energía inyectada a la red y la energía consumida, también se contará con los dispositivos de protección y control requeridos por la empresa distribuidora.

La instalación fotovoltaica deberá cumplir con los requisitos técnicos establecidos por la empresa distribuidora en términos de calidad de energía, factor de potencia, niveles de armónicos, entre otros parámetros relevantes.

Se proporcionará a la empresa distribuidora toda la documentación necesaria, como certificados de conformidad de los equipos, esquemas unifilares, planos de conexión y manuales de operación y mantenimiento.

7.4 Pagos y mediciones.

a) Medición inicial

Antes de la instalación, se realizará una medición inicial de las condiciones del lugar de trabajo, incluyendo la ubicación de los paneles solares, inversores, estructuras de soporte y otros componentes necesarios.

b) Abono

El pago de los trabajos se realizará de acuerdo con un calendario de pagos previamente acordado por las partes, y estará sujeto al cumplimiento de los hitos y etapas especificados en el contrato.

c) Mediciones intermedias

Durante la ejecución de la obra se realizarán mediciones intermedias para verificar el avance y cumplimiento de los objetivos acordados. Estas mediciones podrán incluir la comprobación de la instalación de paneles solares, cableado, inversores y otros componentes críticos.

d) Pruebas y comprobaciones

Una vez finalizada la instalación, se llevarán a cabo pruebas y comprobaciones del funcionamiento de la instalación fotovoltaica, incluyendo la medición de la potencia generada, la eficiencia del sistema y la calidad de la energía.

e) Certificaciones y documentación

Se facilitarán los certificados de conformidad y otros documentos requeridos por las autoridades competentes y organismos reguladores. Además, se facilitará toda la documentación técnica, incluidos los planos de instalación, los manuales de funcionamiento y mantenimiento y los resultados de las pruebas y mediciones.

f) Recepción y entrada en marcha

Una vez cumplidos todos los términos contractuales y verificada la correcta instalación y funcionamiento de la planta. Se procederá a la recepción formal de la obra y de su puesta en marcha.

7.5 Garantías.

La garantía de los componentes serán acorde a las garantías dadas por los fabricantes donde los paneles solares tendrán una garantía de al menos 25 años contra defectos de fabricación, pérdida de potencia y degradación. El inversor contará con una garantía mínima de 10 años, cubriendo defectos de fabricación y funcionamiento. Y el cableado, conectores y otros componentes eléctricos tendrán una garantía mínima de 5 años.

Se exigirá que el fabricante o proveedor proporcione certificados de garantía por escrito en los que se indiquen las condiciones, alcance y manual de las garantías ofrecidas, que contengan instrucciones y recomendaciones para mantener la cobertura

En cuanto a la instalación fotovoltaica en su conjunto contará con una garantía de al menos 2 años, cubriendo defectos de instalación y funcionamiento, se garantizará que la instalación cumpla con las normativas y regulaciones vigentes en materia de seguridad y calidad de energía.

Se establecerá una garantía de rendimiento mínimo de los paneles solares, asegurando que la producción se mantenga dentro de los rangos especificados por el fabricante durante un periodo 25 años.

Se definirá un procedimiento claro y transparente para presentar reclamaciones relacionadas con las garantías estableciendo un plazo de respuesta para las resoluciones de las reclamaciones y designando un punto de contacto para las posibles asistencia técnica durante el periodo de garantía de la instalación

Las garantías podrán ser transferibles en caso de venta de la instalación fotovoltaica durante el período de garantía, bajo previa notificación y aceptación del fabricante o proveedor

Se especificarán las exclusiones de la garantía, como el uso inadecuado, la manipulación indebida, los daños causados por catástrofes naturales u otros sucesos incontrolables y las modificaciones no autorizadas de los componentes o de la instalación.

Capítulo 8. Presupuesto y rentabilidad de la instalación.

En este capítulo se presentará un presupuesto para la ejecución del material del proyecto de la instalación fotovoltaica de 100 kW estudiada. El objetivo es ofrecer una imagen clara y transparente de los costes asociados a este, que pretende maximizar el uso de la energía solar para generar electricidad de forma sostenible y rentable.

8.1 Presupuesto.

Con el fin de brindar una visualización completa del presupuesto, se proporcionará un desglose detallado de los costos, dividiéndolos en categorías específicas y proporcionando una descripción clara de cada elemento incluido en el presupuesto

✓ Material fotovoltaico

Código	Descripción	Unidades	Precio Ud.	Precio total
INVHUA100K	Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 de 100 kW	1	9.000,00 €	9.000,00 €
FVCSHIKU	Panel fotovoltaico Canadian Solar modelo CS3Y-475MS de 475 Wp	215	123,20 €	26.488,00 €
FVE-INCL	Estructura módulo con inclinación	72	48,40 €	3.484,80 €
FVE-COP	Estructura módulos coplanar	143	38,57 €	5.515,51 €
			Total	44.488,31 €

Tabla 15. Presupuesto material fotovoltaicos

✓ Material eléctrico

Descripción	Unidades	Precio Ud.	Precio total
Suministro conductor PV H1Z2Z2-K 01,5kV/1, kV 1,8kV DC 1x4 mm ² , color rojo (metros lineal)	175	0,58 €	101,50 €
Suministro conductor PV H1Z2Z2-K 01,5kV/1, kV 1,8kV DC 1x4 mm ² , color negro (metros lineal)	94	0,58 €	54,52 €
Suministro conductor PV H1Z2Z2-K 01,5kV/1, kV 1,8kV DC 1x6 mm ² , color rojo (metros lineal)	457	0,87 €	397,59 €
Suministro conductor PV H1Z2Z2-K 01,5kV/1, kV 1,8kV DC 1x6 mm ² , color negro (metros lineal)	457	0,87 €	397,59 €
Suministro conductor PV H1Z2Z2-K 01,5kV/1, kV 1,8kV DC 1x10 mm ² , color rojo (metros lineal)	315	1,39 €	437,85 €
Suministro conductor PV H1Z2Z2-K 01,5kV/1, kV 1,8kV DC 1x10 mm ² , color negro (metros lineal)	315	1,39 €	437,85 €
Suministro de bandeja perforada 100 x 60 con tapa de acero galvanizado, se incluyen accesorios de instalación.	60	18,80 €	1.128,00 €
Suministro Conductor RZ1-K 0,6/1 kV 1x70 norma UNE-21123-4, Temperatura máxima 90°C, no propagador de llama y libre de halógenos. (Fase, neutro y tierra) (metros lineal)	25	7,80 €	195,00 €

Ud. Suministros Cuadro DC de agrupamiento de strings. Se incluye: - Envolvente metálica tipo CRN de Schneider, 400 x 600 x 300 mm (alto x ancho x fondo) - Puerta ciega con cerradura. - Placa de montaje - carril DIN - 30 portafusibles 10x38 1000 VDC 25A - 30 fusibles 10x38 1000 VDC 16A	1	650,00 €	650,00 €
Ud. Suministro de Cuadro de protecciones AC que incluye el material siguiente: - Envolvente metálica tipo CRN de Schneider, 800 x 600 x 250 (alto x ancho x fondo). - Puerta Ciega con cerradura. - Placa de Montaje. - Carril DIN - Protección magnetotérmica 160 A tetrapolar. - Relé diferencial CLASE A. - Transformador toroidal	1	1.358,10 €	1.358,10 €
Total			5.158,00 €

Tabla 16. Presupuesto material eléctrico

✓ Mano de obra

Descripción	Unidades	Precio Ud.	Precio total
Replanteo de la instalación	1	250,00 €	250 €
Mano de obra de instalación y desplazamiento. Se incluye el montaje de paneles con su estructura, la instalación de canalización y cableado que le sea de aplicación, el montaje de cuadros e inversor y el conexionado de los diferentes elementos	215	36,28 €	7.800 €
Pruebas y puesta en marcha	1	350	350 €
Total			8.399,99 €

Tabla 17. Presupuesto mano obra

✓ Registro y legalización

Descripción	Unidades	Precio Ud.	Precio total
Redacción de proyecto y Dirección Técnica. Se incluye el Certificado final de obra y las tasas de Visado	1	850,00 €	850 €
Solicitud de punto de Conexión en la Empresa Distribuidor de Electricidad.	1	350,00 €	350 €
Registro de la instalación eléctrica en la Dirección Provincial de industria de Segovia. Se incluye la revisión inicial de la OCA.	1	800	800 €
Total			2.000,00 €

Tabla 18. Presupuesto registro y legalización

✓ Presupuesto total

	Descripción	Importe
Tabla 15	Material fotovoltaico	44.488,31 €
Tabla 16	Material eléctrico	5.158,00 €
Tabla 17	Mano de obra	8.399,99 €
Tabla 18	Registro y legalización	2.000,00 €
Presupuesto total		60.046,30 €

Tabla 19. Presupuesto total

Es importante destacar que todos los presupuestos presentados a lo largo de este documento son precios sin incluir el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), por lo que el presupuesto de ejecución del material total final incluyendo el IVA será de 76.656,02 €.

8.2 Rentabilidad y amortización.

Es fundamental evaluar para un proyecto de este tamaño la viabilidad económica y determinar su amortización y rentabilidad. El periodo de amortización es el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial realizada en el proyecto. En el caso de la instalación, hay que tener en cuenta varios factores para calcular la amortización. Entre ellos, el coste total del sistema, que incluye los paneles solares, los inversores, el sistema de montaje, los cables y otros componentes. Además, hay que considerar los costes de instalación y conexión a la red eléctrica.

Una vez determinado el coste global del proyecto en el apartado anterior, hay que evaluar los ingresos generados por la instalación fotovoltaica. Esto implica analizar la cantidad de energía que se puede generar anualmente, así como el precio al que se puede vender a la red eléctrica. Por lo tanto, se presenta en la *Tabla 20* que describe los datos económicos clave que servirá como base fundamental para realizar los cálculos precisos de amortización y permitirá evaluar la rentabilidad del proyecto.

INVERSIÓN INICIAL	76.652,02 €
PRODUCCIÓN ANUAL KWh	152.092
PRECIO COMPRA KWh	0,125 €
PRECIO VENTA KWh	0,05 €
AHORRO ENERGÍA ANUAL	15.589,45 €
AHORRO IMPUESTO ENERGÍA ANUAL (5,11%)	797,04 €
AHORRO IVA ENERGÍA ANUAL (21%)	3.441,16 €
AHORRO DE IMPUESTO SOCIEDADES (25%)	19.163,01 €
AMORTIZACIÓN LINEAL I.SOC. (12 AÑOS)	1.596,92 €
AHORRO DE COMBUSTIBLE (GENERACION)	0,00 €
AUMENTO ANUAL PRECIO KWh	2%
PÉRDIDA LINEAL DE RENDIMIENTO ANUAL	0,80%
INFLACIÓN	2,0%
PERIODO (años)	30

Tabla 20. Datos económicos de la instalación.

El cálculo de la caja de flujo se realizará para un periodo de 30 años utilizando los datos económicos pertinentes de la *Tabla 20*. La caja de flujo representa la liquidez que entran y salen de la instalación durante su vida útil. Al realizar este cálculo para un período de 30 años, se obtendrá una visión clara de la rentabilidad financiera del proyecto a lo largo del tiempo y su tiempo de amortización.

FLUJOS DE CAJA (FC)		
AÑO	CF	ACUMULADO
0	-75.055,10 €	- 75.055,10 €
1	21.659,33 €	- 53.395,77 €
2	21.895,55 €	- 31.500,22 €
3	22.133,19 €	- 9.367,02 €
4	22.372,22 €	13.005,20 €
5	22.612,60 €	35.617,80 €
6	22.854,28 €	58.472,08 €
7	23.097,22 €	81.569,30 €
8	23.341,38 €	104.910,67 €
9	23.586,70 €	128.497,37 €
10	23.833,14 €	152.330,51 €
11	24.080,63 €	176.411,14 €
12	24.329,14 €	200.740,28 €
13	24.578,59 €	225.318,87 €
14	24.828,93 €	250.147,79 €
15	25.080,08 €	275.227,87 €
16	25.331,99 €	300.559,87 €
17	25.584,59 €	326.144,45 €
18	25.837,79 €	351.982,24 €
19	26.091,53 €	378.073,77 €
20	26.345,71 €	404.419,48 €
21	26.600,27 €	431.019,76 €
22	26.855,12 €	457.874,87 €
23	27.110,15 €	484.985,02 €
24	27.365,28 €	512.350,30 €
25	27.620,41 €	539.970,72 €
26	27.875,44 €	567.846,16 €
27	28.130,27 €	595.976,43 €
28	28.384,77 €	624.361,20 €
29	28.638,84 €	653.000,04 €
30	28.892,36 €	681.892,40 €
TOTAL	681.892,40 €	

Tabla 21. Flujo de caja

Tras obtener el flujo de caja de la instalación fotovoltaica, se calcularán los valores de los indicadores financieros clave: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores proporcionarán una evaluación precisa de la rentabilidad del proyecto y le permitirán determinar el tiempo necesario para recuperar su inversión inicial.

Se han obtenido los siguientes valores para los indicadores financieros clave. El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es de 481.780,99 €, lo que indica que los flujos de efectivo netos generados a lo largo de la vida útil del proyecto superan la inversión inicial. Por otro lado, la Tasa Interna de Retorno (TIR) se estima en un 29,91%, lo que indica que el proyecto tiene un rendimiento esperado del 29,91% sobre la inversión inicial.

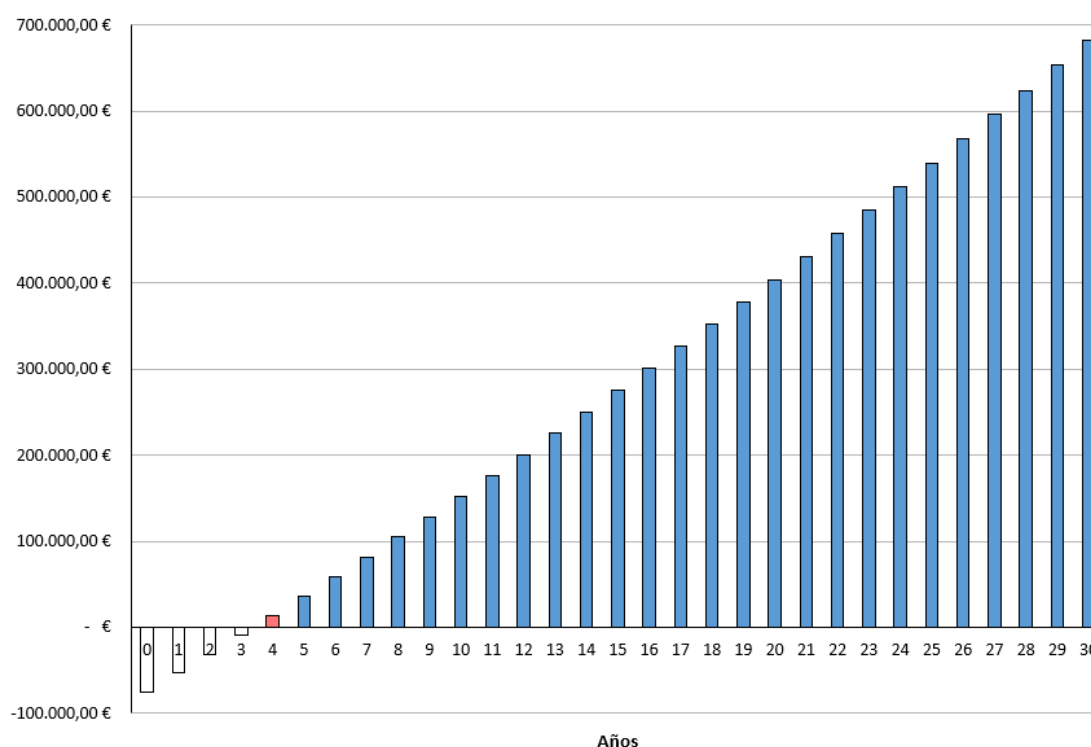


Figura 85. Gráfico de retorno de la inversión

VAN	TIR	PAY-BACK	AHORRO EMISIONES CO2 (Kg)	ÁRBOLES PLANTADOS EQUIVALENTES
481.780,99 €	29,91%	4 AÑOS	80.611	2992

Tabla 22. Valores de los indicadores económicos

Analizando los resultados obtenidos de amortización y rentabilidad para el proyecto de la instalación fotovoltaica, se puede concluir que la inversión es altamente rentable. Con un valor actual neto (VAN) de 481.780,99 euros y una rentabilidad de la inversión (TIR) del 29,91%, el proyecto es financieramente sólido. También cabe destacar que la inversión inicial se recupera en sólo cuatro años, lo que demuestra que se trata de una inversión muy rentable.

La rápida amortización de la inversión es indicativa de la eficiencia y rentabilidad del proyecto fotovoltaico. Además, dada la vida útil del proyecto de 30 años, los beneficios económicos seguirán acumulándose durante mucho tiempo después de que se haya recuperado la inversión inicial.

Conclusiones

La instalación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico demostró ser una solución eficaz para reducir los costes de la factura eléctrica. Al generar electricidad en el mismo lugar donde se consume evitando los costes asociados a la transmisión y distribución de electricidad desde una central eléctrica a una red eléctrica local y, finalmente, al usuario final.



Aparte de los beneficios económicos, el uso de la energía solar contribuye significativamente a la protección del medio ambiente. Al eliminar los combustibles fósiles, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ayuda a mitigar el cambio climático y promueve un medio ambiente más sostenible.

Como objetivo específico, se completaron una serie de tareas técnicas para garantizar que la instalación sea segura y eficiente, así como su correcta conexión a la red eléctrica local. Esto requirió la realización de cálculos precisos y la aplicación de las medidas necesarias para cumplir los requisitos legales y de seguridad establecidos en la Normativa Española.

En este sentido, se diseñó una estructura adecuada para los paneles solares teniendo en cuenta los requisitos legales y de seguridad vigentes. Concluyendo que la estructura diseñada satisface las demandas de carga establecidas. El diseño reducido de la estructura ha facilitado tanto el transporte como el almacenamiento de este, proporcionando comodidad y practicidad en la implementación del sistema, garantizando su integridad y eficiencia durante todo el proceso. La pequeña estructura ha demostrado ser una solución eficiente para maximizar el espacio disponible y facilitar la instalación en diversos lugares, proporcionando flexibilidad y adaptabilidad.

Como conclusión final, la instalación del sistema de autoconsumo fotovoltaico de 100kW propuesto proporciona un suministro energético limpio, eficiente y rentable. Los cálculos y las tareas técnicas realizadas garantizaran una instalación segura y cumpliendo los requisitos legales y de seguridad establecidos, dando como resultado que sea una inversión muy atractiva por el tiempo de amortización y a su vez fomentando el uso de energías renovables contribuyendo al cuidado del medio ambiente, influyendo positivamente en la sociedad y sentando las bases para un futuro más sostenible.

Bibliografía

- 8.- *Apoyos y enlaces entre elementos estructurales*. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2023, de https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947489/8_apoyos_y_enlaces_entre_elementos_estructurales.html
- 11.1 *Introducción a la física de partículas—Física universitaria volumen 3* | OpenStax. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2023, de <https://openstax.org/books/fisica-universitaria-volumen-3/pages/11-1-introduccion-a-la-fisica-de-particulas>
- (A) *Deformación longitudinal* (b) *Deformación por cortante*. (s. f.). ResearchGate. Recuperado 22 de mayo de 2023, de https://www.researchgate.net/figure/a-Deformacion-longitudinal-b-Deformacion-por-cortante_fig8_309763299
- AENOR. (2006). *Chapas metálicas autoportantes para recubrimiento y revestimiento de cubiertas y fachadas. Especificaciones y requisitos de producto*. <https://en.tienda.aenor.com/norma-une-en-14782-2006-n0037619>
- Alonso, J. A. (2018, junio 5). *Radiación, Irradiancia y Azimut en Fotovoltaica*  *SunFields*. SunFields  Distribuidor: paneles solares y equipos fotovoltaicos. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS. (2010, julio 28). *ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS*. <http://udofundamento.blogspot.com/2010/07/analisis-de-fuerzas-internas.html>
- ASM Material Data Sheet*. (s. f.). Recuperado 25 de abril de 2023, de <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma6061t6>
- Ayuda para la selección para la protección contra sobretensiones* | PHOENIX CONTACT. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2023, de

<https://www.phoenixcontact.com/es-co/tecnologias/proteccion-sobretensiones-tecnologia/ayuda-seleccion-proteccion-sobretensiones>

Beer, F. P., & Johnson Jr, E. R. (2017). *Mecanicas de Materiales* (6a ed.). McGraw-Hill.

Benavides, H., & van, A. (2017, julio 1). *Estudio de viabilidad económica y técnica de la instalación de una planta fotovoltaica en la ciudad deportiva de Lanzarote.*

<https://www.semanticscholar.org/paper/Estudio-de-viabilidad-econ%C3%B3mica-y-t%C3%A9cnica-de-la-de-Benavides-van/3721bfbebf84f31b569201fc27c28ba9c24fc051>

Bilbao et al. - TEMA 3 – Matriz de rigidez.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de mayo de 2023, de

https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/52300/mod_resource/content/0/TEMA%203%20MATRIZ%20DE%20RIGIDEZ.pdf

Bilbao, M. A., Martínez, I. C., & Miguel, I. H. (s. f.). *TEMA 3 – Matriz de rigidez.*

BOE-A-1995-24292 Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos

Laborales. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2023, de

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>

BOE-A-1997-22614 Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se

establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2023, de

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-22614>

BOE-A-2000-24019 Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan

las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y

procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2000-24019>

BOE-A-2001-11948 Resolución de 31 de mayo de 2001, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-11948>

BOE-A-2007-10556 Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-10556>

BOE-A-2007-16478 Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-16478>

BOE-A-2015-10927 Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2023, de

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-10927>

BOE-A-2018-13593 Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2018-13593>

BOE-A-2022-4972 Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por el que se adoptan

medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-4972>

BOE-A-2022-10557 Real Decreto-ley 11/2022, de 25 de junio, por el que se adoptan y

se prorrogan determinadas medidas para responder a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania, para hacer frente a situaciones de vulnerabilidad social y económica, y para la recuperación económica y social de la isla de La Palma. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-10557>

BOE-A-2022-12925 Real Decreto-ley 14/2022, de 1 de agosto, de medidas de

sostenibilidad económica en el ámbito del transporte, en materia de becas y ayudas al estudio, así como de medidas de ahorro, eficiencia energética y de reducción de la dependencia energética del gas natural. (s. f.).


Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-12925>

BOE-A-2022-17040 Real Decreto-ley 18/2022, de 18 de octubre, por el que se

aprueban medidas de refuerzo de la protección de los consumidores de energía y de contribución a la reducción del consumo de gas natural en aplicación del «Plan + seguridad para tu energía (+SE)», así como medidas en materia de retribuciones del personal al servicio del sector público y de protección de las personas trabajadoras agrarias eventuales afectadas por la sequía. (s. f.).

Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-17040>

BOE-A-2022-22685 Real Decreto-ley 20/2022, de 27 de diciembre, de medidas de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la Guerra de Ucrania y de apoyo a la reconstrucción de la isla de La Palma y a otras situaciones de vulnerabilidad. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-22685>

Cordero, R. G. (2021, diciembre 18). *Autoconsumo fotovoltaico: Todo lo que necesitas saber - SunFields*. SunFields  Distribuidor: paneles solares y equipos fotovoltaicos. <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/autoconsumo-fotovoltaico/>

Criterio de máxima tensión de von Mises—2018—Ayuda de SOLIDWORKS. (s. f.). Recuperado 29 de marzo de 2023, de https://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/r_maximum_von_mises_stress_criterion.htm

Criterio de rendimiento de von Mises Formulación matemática. (2020). https://hmong.es/wiki/Von_Mises_yield_criterion

Darder, M. (2018, mayo 24). *Instalación fotovoltaica de autoconsumo conectada a red en zona industrial de Palma de Mallorca.* <https://www.semanticscholar.org/paper/Instalaci%C3%B3n-fotovoltaica-de-autoconsumo-conectada-a-Darder/6b31ca4eed5b43ff3006d9c73a48f416c828ae50>

DATASHEET Canadian Solar HiKuPro CS3Y-MS. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de http://www.vicoexport.com/wp-content/uploads/2020/05/Canadian-Solar-HiKuPro_CS3Y-MS_475w-495w-Vico-Export-Solar-Energy.pdf

DBSE-AE.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de mayo de 2023, de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

Diferencias entre la potencia pico y potencia nominal. (2023, mayo 1).

<https://solarama.mx/blog/potencia-pico-y-potencia-nominal/>

Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual. (s. f.).

Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado 16 de mayo de 2023, de

<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>

Energía solar fotovoltaica y térmica: Ventajas y desventajas. (2021, enero 25). Climate

Consulting. <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar>

Escoda, S. (s. f.). *Libro Blanco de las Energías Renovables* (18.1).

Fernández, J. L. (s. f.). *Movimiento y Sistemas de Referencia.* Recuperado 29 de marzo

de 2023, de <https://www.fisicalab.com/apartado/movimiento-sistemas-referencia>

Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo (IDAE). (2023).

https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/2023_01_

[10_Guia_Profesional_Tramitacion_autoconsumo_v.5.1.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/2023_01_10_Guia_Profesional_Tramitacion_autoconsumo_v.5.1.pdf)

Guia_bt_19_feb09R2.pdf. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2023, de

<https://industria.gob.es/Calidad->

[Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-](https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-)

[tension/Documents/bt/guia_bt_19_feb09R2.pdf](https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/bt/guia_bt_19_feb09R2.pdf)

HelioEsfera. (2018, noviembre 16). *¿Cómo funciona un sistema fotovoltaico de*

autoconsumo? HelioEsfera. [https://www.helioesfera.com/como-funciona-un-](https://www.helioesfera.com/como-funciona-un-sistema-fotovoltaico-de-autoconsumo/)


[sistema-fotovoltaico-de-autoconsumo/](https://www.helioesfera.com/como-funciona-un-sistema-fotovoltaico-de-autoconsumo/)

Heras, I. de las. (2020, mayo 12). *¿Qué requisitos debe de cumplir el Inversor*

Fotovoltaico? -. *Certifica Energía Sevilla.*

<https://www.certificaenergiasevilla.com/que-requisitos-debe-de-cumplir-el->

[inversor-fotovoltaico/](https://www.certificaenergiasevilla.com/que-requisitos-debe-de-cumplir-el-inversor-fotovoltaico/)

- Hibbeler, R. C., Gonzalez y Pozo, V., & Cera Alonso, J. (2006). *Mecánica de materiales* (6a ed.). Prentice Hall.
- IBERDROLA. (s. f.). *El auge del autoconsumo fotovoltaico, un aliado contra el cambio climático*. Iberdrola. Recuperado 16 de mayo de 2023, de <https://www.iberdrola.com/innovacion/autoconsumo-fotovoltaico>
- IngMario. (2014, septiembre 15). Ejercicio: Viga con empotramiento. *El Rincón Del Ingeniero*. <https://www.elrincondelingeniero.com/Ejercicio: viga con empotramiento/>
- Interruptor diferencial; Acti9 iID; 4P; 300mA AC | Schneider Electric España*. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2023, de <https://www.se.com/es/es/product/A9R84440/interruptor-diferencial-acti9-iid-4p-40a-300ma-ac/>
- Interruptor magnetotérmico, Schneider Electric España*. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de <https://www.se.com/es/es/product/A9F79463/interruptor-magnetot%C3%A9rmico-acti9-ic60n-4p-63-a-curva-c-6000-a-10-ka/>
- Inversor Fotovoltaico*. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>
- Inversor Fotovoltaico—Conceptos Básicos*. (2019, diciembre 8). SunFields  Distribuidor: paneles solares y equipos fotovoltaicos. <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/funcionamiento-inversor-fotovoltaico/>
- Irradiación solar. (2023). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Irradiaci%C3%B3n_solar&oldid=151054267
- Irradiación solar—ECyT-ar*. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de <https://cyt-ar.com.ar/cyt->

[ar/index.php?mobileaction=toggle_view_desktop&title=Irradiaci%C3%B3n_sol](https://www.boe.es/eli/es/l/1997/11/27/54)

ar

Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, Pub. L. No. Ley 54/1997, BOE-A-1997-25340 35097 (1997). <https://www.boe.es/eli/es/l/1997/11/27/54>

Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales, Pub. L. No. Ley 54/2003, BOE-A-2003-22861 44408 (2003). <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/12/12/54>

Lorenzo, E., Calvo, I., & Alonso, L. (2015). *Diseño de instalaciones solares fotovoltaicas: Una guía para arquitectos e ingenieros* (Vol. 1). Universidad de Valladolid.

MECAPEDIA • Deformación transversal unitaria. (s. f.). Recuperado 27 de mayo de 2023, de

http://www.mecapedia.uji.es/pages/deformacion_transversal_unitaria.html

Medición de la Radiación Solar | PVEducation. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/medici%C3%B3n-de-la-radiaci%C3%B3n-solar>

Método de los elementos finitos. (2023). En *Wikipedia, la enciclopedia libre.*

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos&oldid=148889872

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, Reglamento electrotécnico para baja tensión, Pub. L. No. Real Decreto 842/2002, BOE-A-2002-18099 33084 (2002).

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842>

Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, Pub. L. No. Real Decreto 1663/2000,

BOE-A-2000-17599 33511 (2000).

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2000/09/29/1663>

Real Decreto 1788/1991, de 20 de diciembre, por el que se derogan diferentes disposiciones vigentes en materia de normalización y homologación, Pub. L.

No. Real Decreto 1788/1991, BOE-A-1991-30582 41374 (1991).

<https://www.boe.es/eli/es/rd/1991/12/20/1788>

Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología, Pub. L. No. Real Decreto 1578/2008, BOE-A-2008-15595 39117 (2008).

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/09/26/1578>

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia, Pub. L.

No. Real Decreto 1699/2011, BOE-A-2011-19242 130033 (2011).

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/11/18/1699>

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, Pub. L. No. Real Decreto 244/2019, BOE-A-2019-5089 35674 (2019). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico—Autoconsumo de energía eléctrica. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de

[https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-](https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/autoconsumo.aspx)

[electrico/Paginas/autoconsumo.aspx](https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/autoconsumo.aspx)

Mira, C., & Manuel, F. (2013, septiembre 1). *Diagnóstico económico energético y propuesta de instalación fotovoltaica de autoconsumo en Agrupación de Regantes de Pinella.*

- <https://www.semanticscholar.org/paper/Diagn%C3%B3stico-econ%C3%B3mico-energ%C3%A9tico-y-propuesta-de-de-Mira-Manuel/97f2f6587cfdefe4c0dcd5e32be2fb4599cd3bd0>
- Napoles Padron, E., González-Carbonell, R., & Olivares Diaz, E. (2015). *Una introducción al Análisis por Elementos Finitos: Aplicaciones y ejemplos. Normativa de Autoconsumo | Idae.* (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/oficina-de-autoconsumo/normativa-de-autoconsumo>
- Potencia pico y potencia nominal, no son lo mismo. (2023, marzo 22). *Blog Engel Solar.* <https://blog.engelsolar.es/potencia-pico-y-potencia-nominal-no-es-lo-mismo/>
- Prieto, R. (2013, septiembre 10). Autoconsumo eléctrico sin inyección a red. Inversores Ingecon, una opción realmente sencilla y económica. - Energías renovables y limpias: Solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz,... *Autoconsumo eléctrico sin inyección a red. Inversores Ingecon, una opción realmente sencilla y económica. - Energías renovables y limpias.* <https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/09/autoconsumo-sin-inyeccion-a-red.html>
- Protección contra sobretensiones para sistemas fotovoltaicos Dispositivo de protección contra sobretensiones CC. (2018, abril 19). *Surge Protection Device.* <https://www.lsp-international.com/es/surge-protection-for-photovoltaic-systems/>
- ¿Qué es la deformación? *Definición | Propiedades materiales.* (2021, agosto 31). Material Properties. <https://material-properties.org/es/que-es-la-deformacion-definicion/>
- Ros Felip, A. (2016). *Elasticidad: Mecánica del sólido deformable* (1ª edición). Madrid Ibergarceta, D.L.

Significado de Deformación. (s. f.). Significados. Recuperado 29 de marzo de 2023, de

<https://www.significados.com/deformacion/>

Soria, A. (s. f.). Normativa fotovoltaica (2022). *Censolar*. Recuperado 8 de junio de

2023, de <https://www.censolar.org/normativa-fotovoltaica-2022/>

Tema-2-celdas-fotovoltaicas.pdf. (s. f.). Recuperado 16 de mayo de 2023, de

<https://sotonina.files.wordpress.com/2017/04/tema-2-celdas-fotovoltaicas.pdf>

Tensión de Von Mises. (2022). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tensi%C3%B3n_de_Von_Mises&oldid=143782370

Teoría del esfuerzo cortante máximo: Teoría de falla de Tresca (PDF). (s. f.). What Is

Piping. Recuperado 22 de mayo de 2023, de <https://whatispiping.com/teoria-del-esfuerzo-cortante-maximo/>

UNE 21123-1:2017 Cables eléctricos de utilización industrial d... (s. f.). Recuperado 17

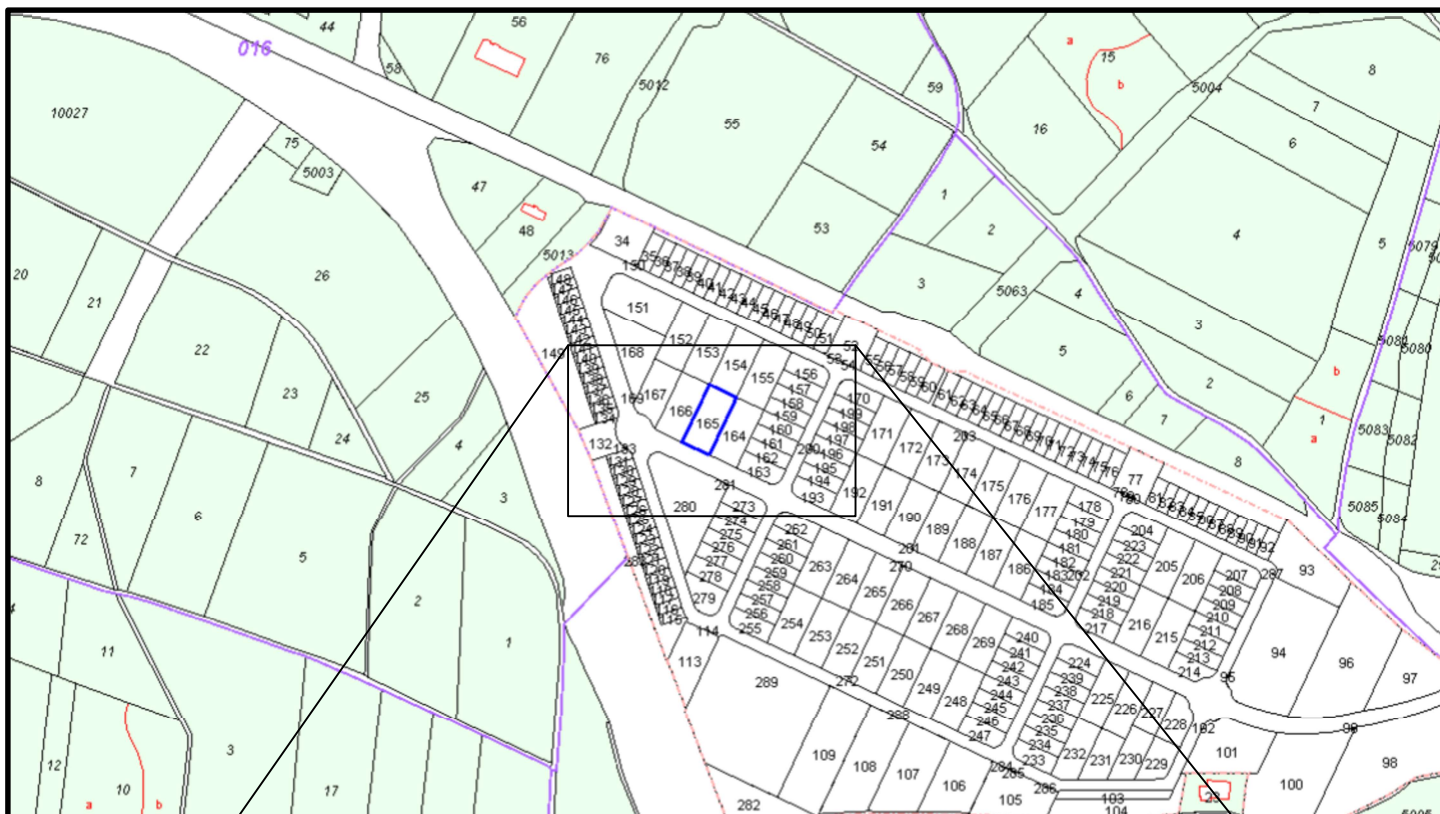
de mayo de 2023, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057801>

UNE-EN 61643-31:2021 Dispositivos de protección contra sobrete... (s. f.). Recuperado

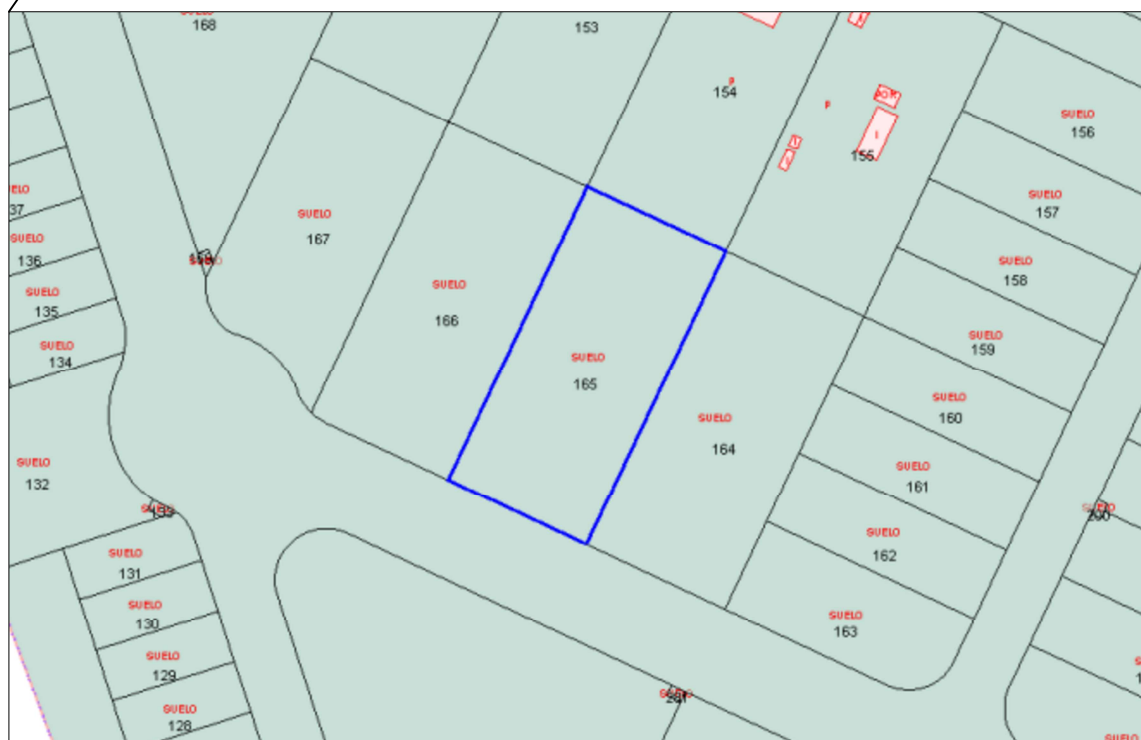
27 de mayo de 2023, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065513>

Planos.

- 1. Situación.**
- 2. Emplazamiento.**
- 3. Distribución y cotas.**
- 4. Distribución de ramas.**
- 5. Esquema Trifilar.**
- 6. Dimensiones pata trasera.**
- 7. Dimensiones pata delantera.**
- 8. Dimensiones grapa final.**
- 9. Dimensiones grapa intermedia.**
- 10. Ensamblaje pata trasera.**
- 11. Ensamblaje pata delantera.**
- 12. Ensamblaje paneles coplanares.**
- 13. Ensamblaje paneles inclinados.**

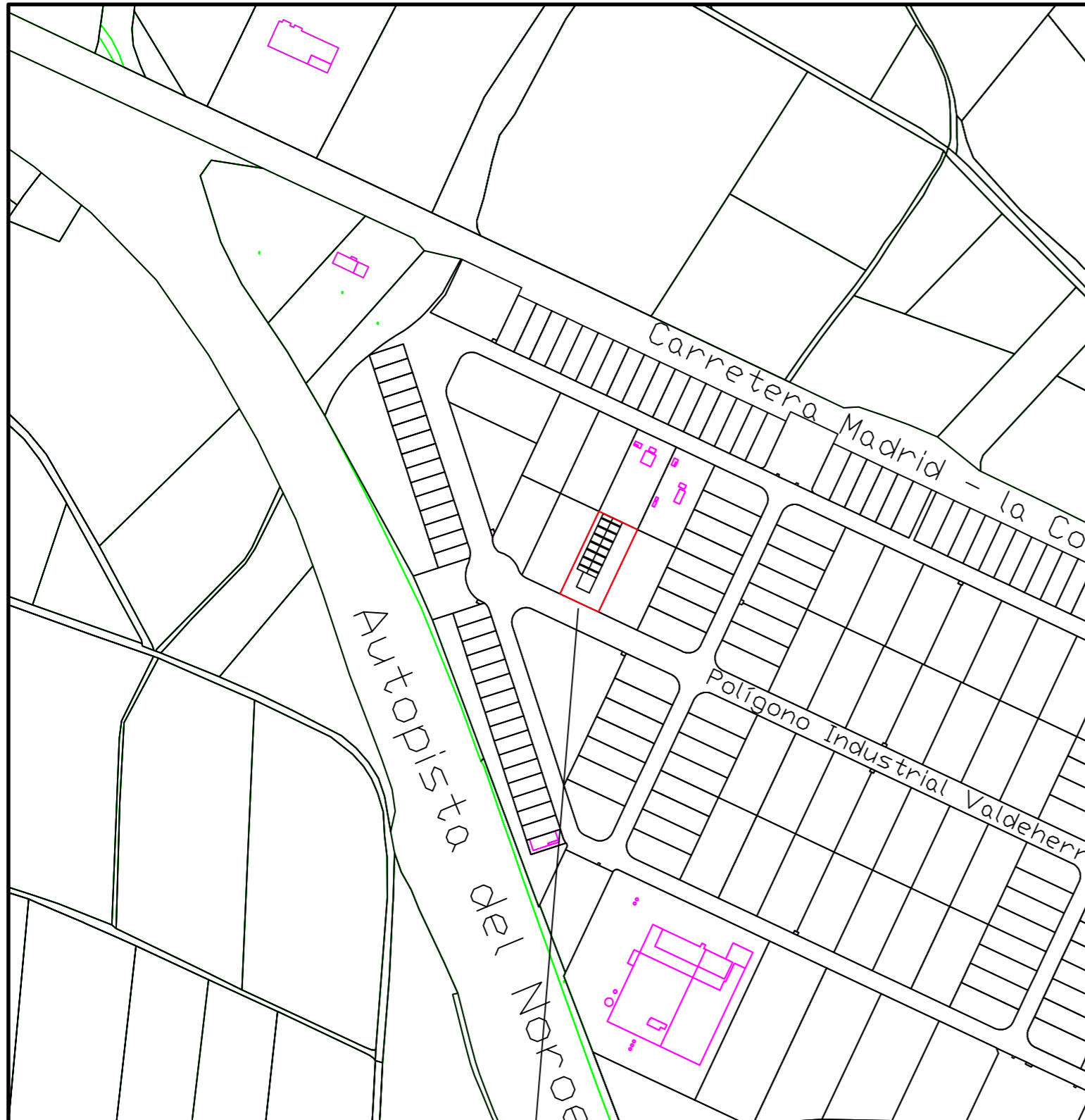


Escala 1:10000



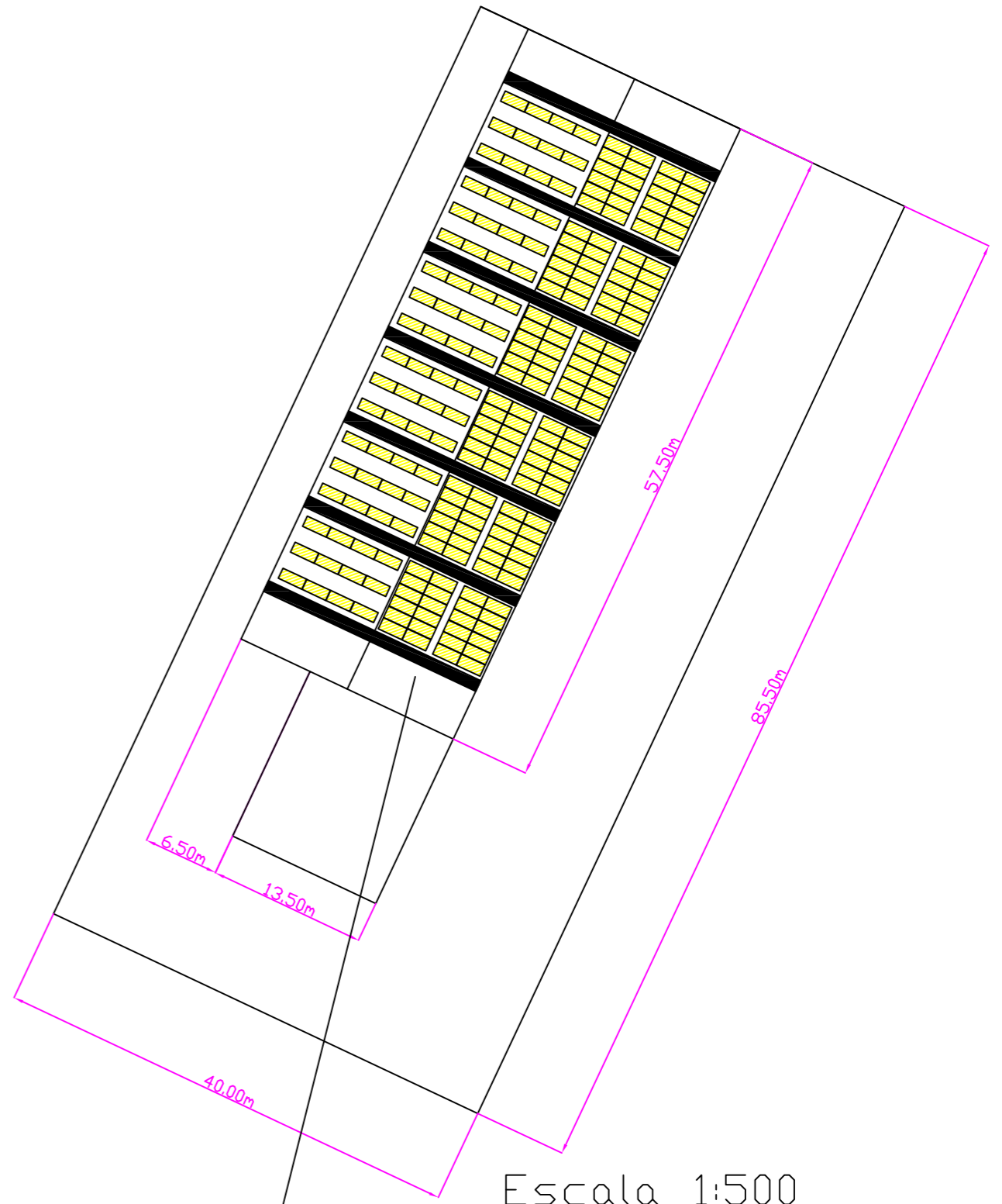
Escala 1:2000

Proyecto: INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 100 KW NOMINALES		UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID		
Situación: Poligono Industrial valdeherrera 17	UTM: Huso: 30T X: 379055 y: 4515966			
Plano Nº: 1	Título: SITUACIÓN		Dibujado: Oscar Rodriguez	Revisado:
	Rev.: 1.a	Fecha: 15-03-2023	Escala: NA	Tamaño: A4
		Trabajo Nº: TFG		



Escala 1:5000

Emplazamiento de la instalación

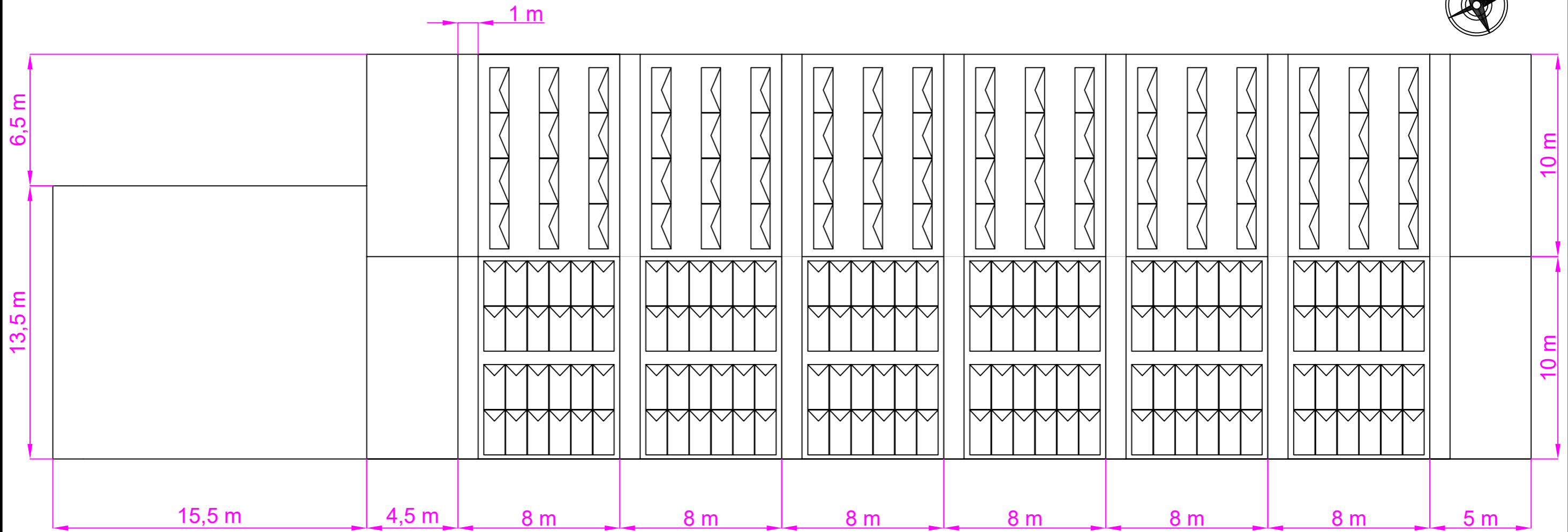
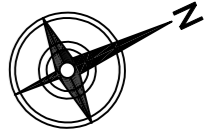


Escala 1:500

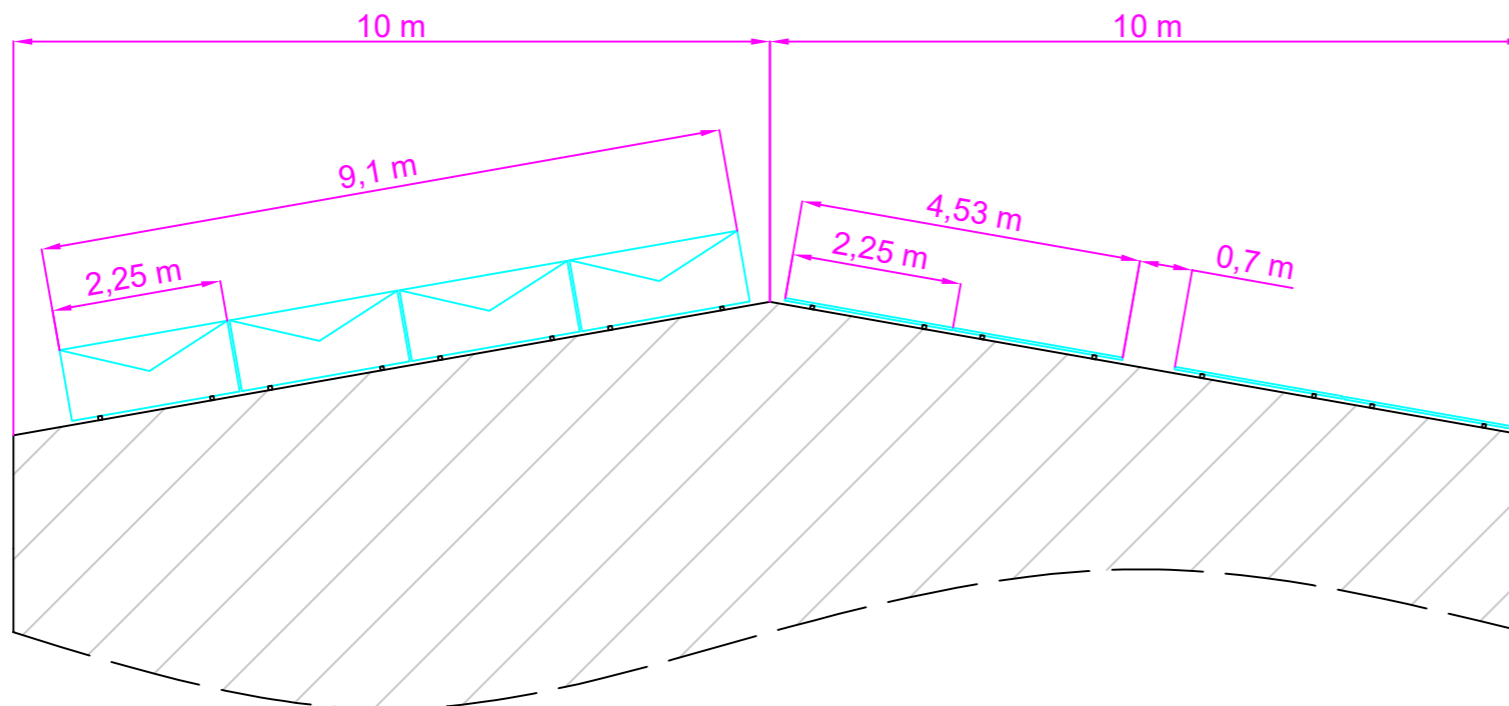
Zona Reformada

Universidad Europea de Madrid				
PROYECTO:				
Instalación Fotovoltaica para autoconsumo				
Situación: Polígono Industrial de Valdeherra Villacastín (Segovia)				UTM:
Plano Nº:	EMPLAZAMIENTO			Fecha:
2				15-03-2023
Dibujado:	Trabajo Nº:	Escala:	Tamaño:	Rev.:
Oscar Rodríguez	-	NA	A3	1.a

VISTA DE PLANTA: ESCALA 1:200



VISTA FRONTAL: ESCALA 1:100



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

PROYECTO:
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 100KW NOMINALES

Situación: Polígono Industrial Valdeherra
Villacastín (Segovia)

UTM: Huso: 30T
x: 379055
y: 4515966

Plano Nº:
3

DISTRIBUCION Y COTAS

Fecha:
15-03-2023

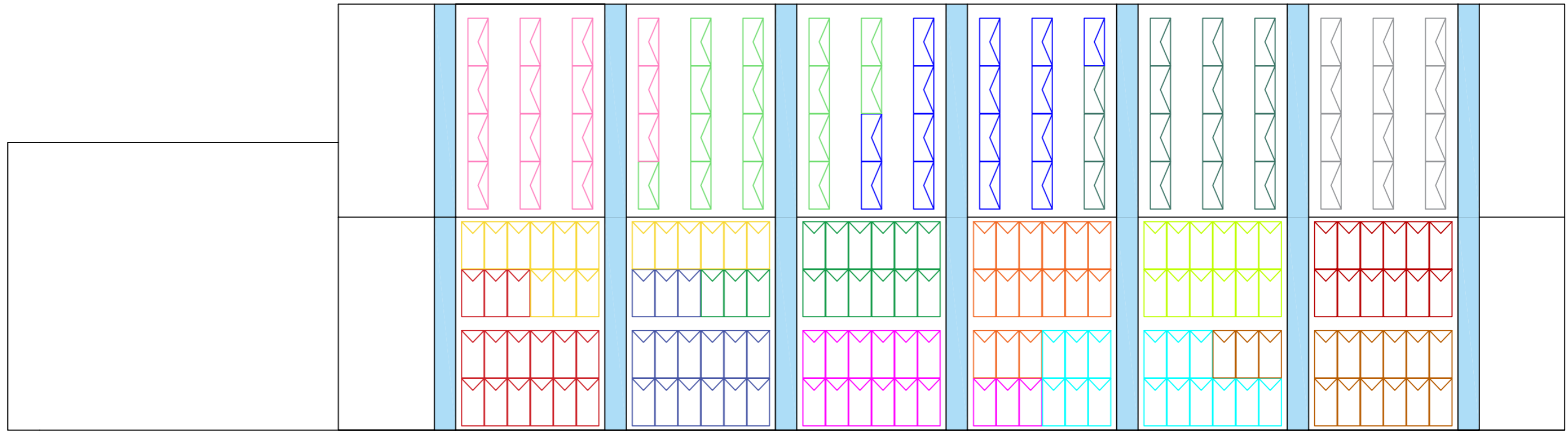
Dibujado:
Oscar
Rodríguez

Trabajo Nº:
TFG

Escala:
-

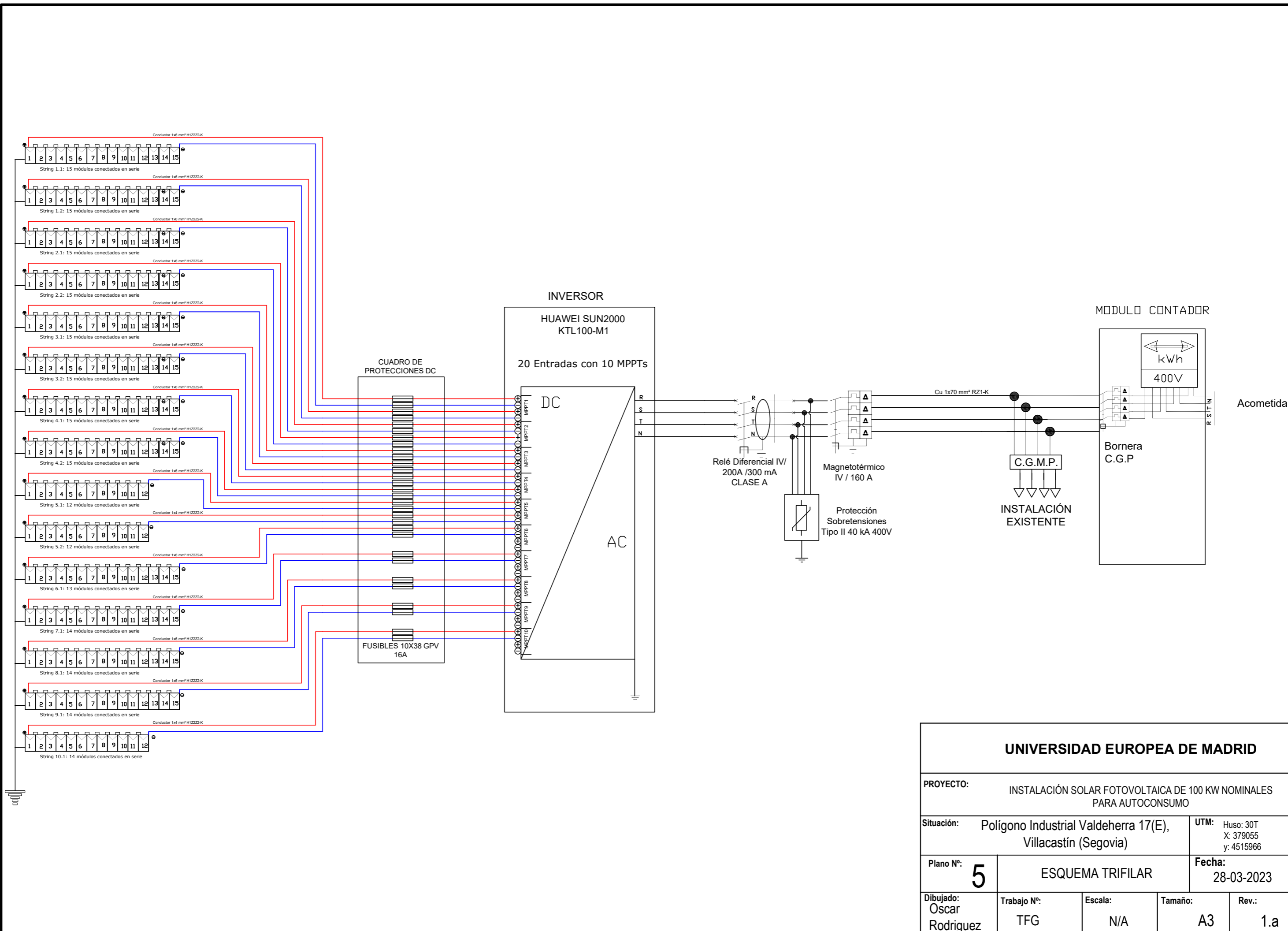
Tamaño:
A3

Rev.:
1

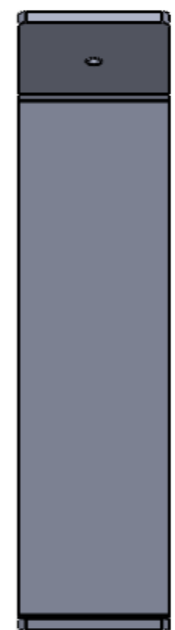
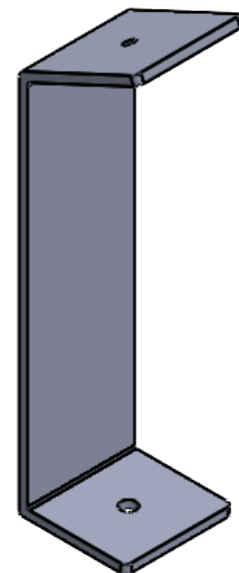
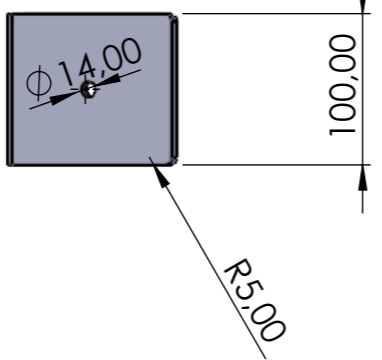
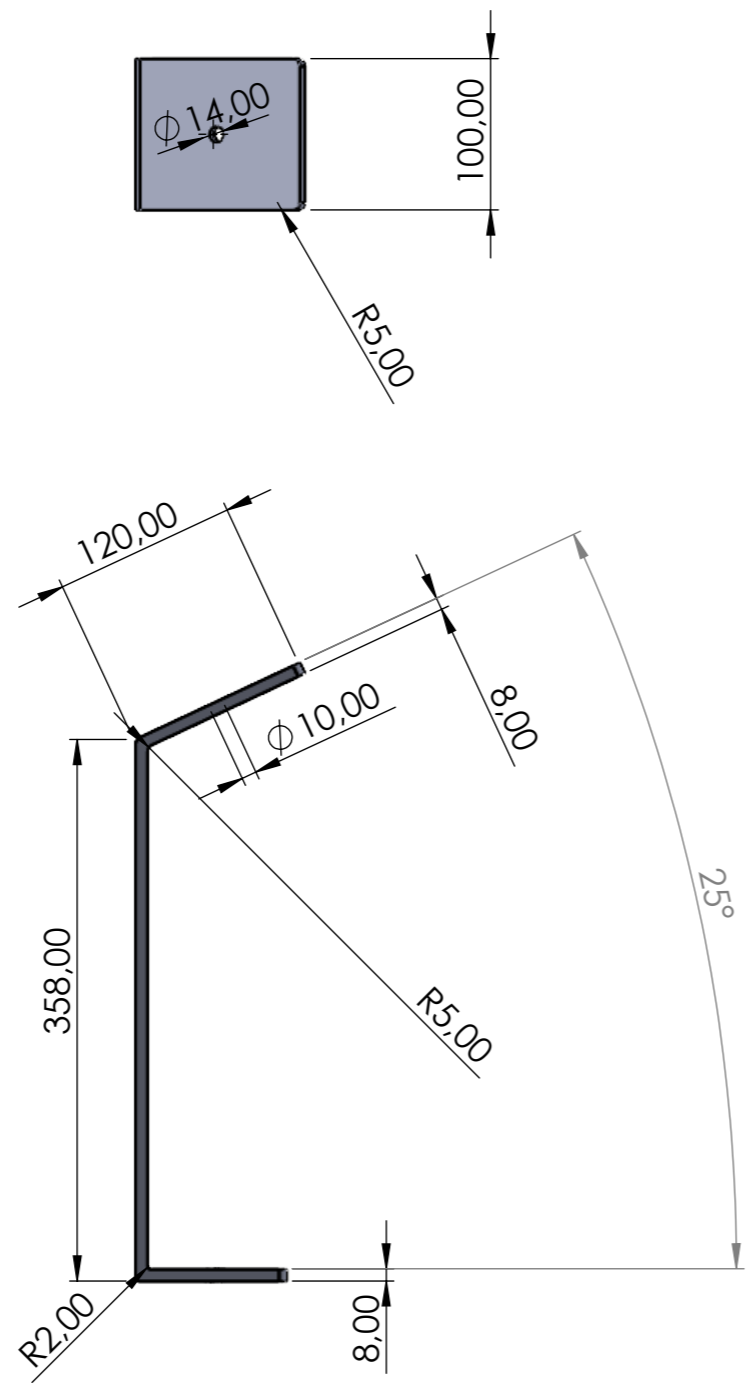


Distribución Ramas				
Nº de Serie	Nº de Módulos	Orientación	Inclinación	Color
1	15	Sur - Este	Coplanar	
2	15	Sur - Este	Coplanar	
3	15	Sur - Este	Coplanar	
4	15	Sur - Este	Coplanar	
5	15	Sur - Este	Coplanar	
6	15	Sur - Este	Coplanar	
7	15	Sur - Este	Coplanar	
8	15	Sur - Este	Coplanar	
9	12	Sur - Este	Coplanar	
10	12	Sur - Este	Coplanar	
11	15	Sur - Oeste	30°	
12	15	Sur - Oeste	30°	
13	15	Sur - Oeste	30°	
14	15	Sur - Oeste	30°	
15	12	Sur - Oeste	30°	

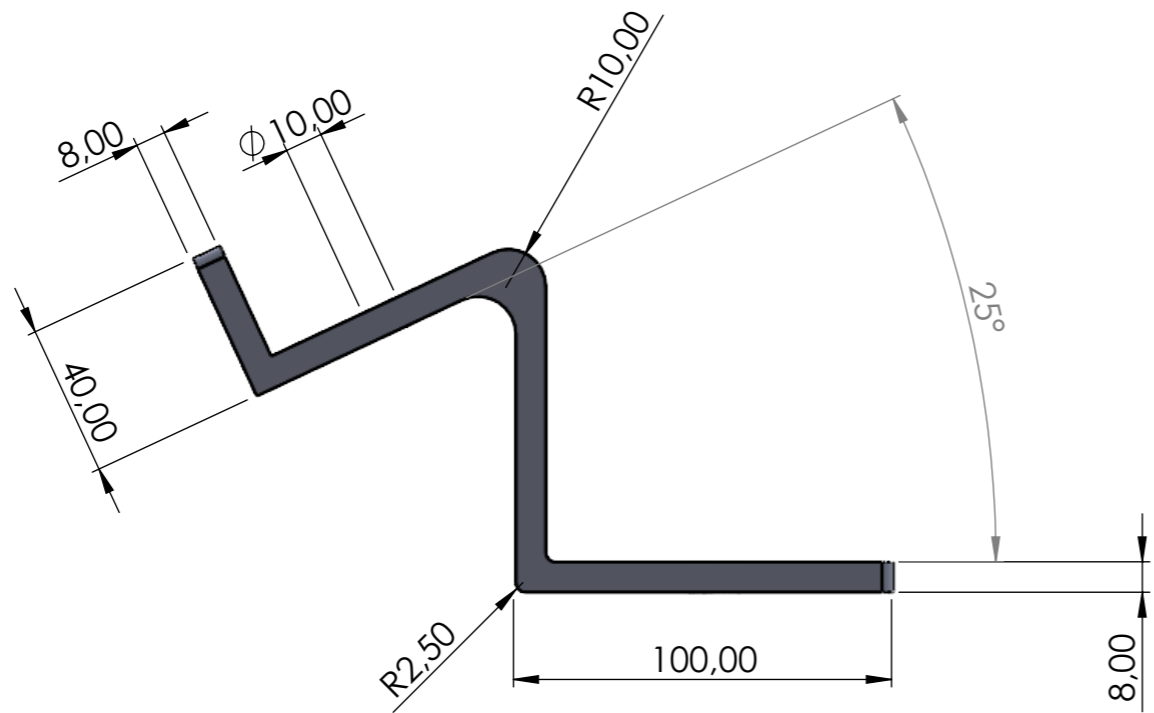
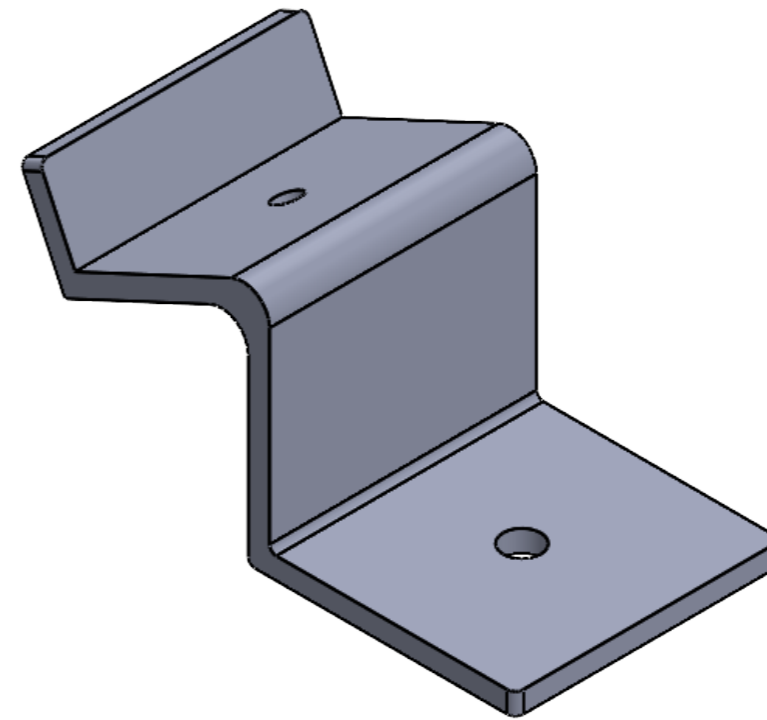
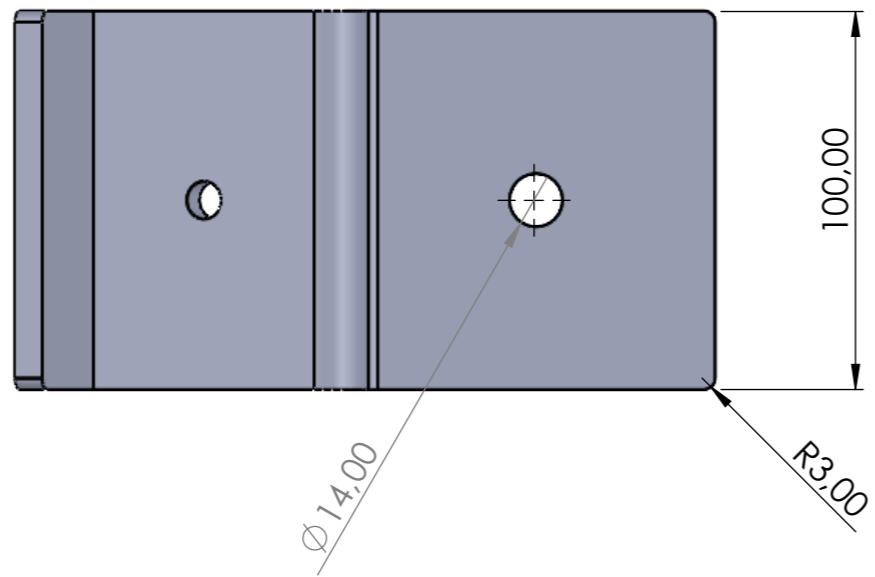
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID				
PROYECTO: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 100KW NOMINALES				
Situación: Polígono Industrial Valdeherra Villacastín (Segovia)			UTM: Huso: 30T x: 379055 y: 4515966	
Plano Nº: 4	DISTRIBUCIÓN DE RAMAS			Fecha: 16-03-2023
Dibujado: Oscar Rodríguez	Trabajo Nº: TFG	Escala: 1:200	Tamaño: A3	Rev.: 1



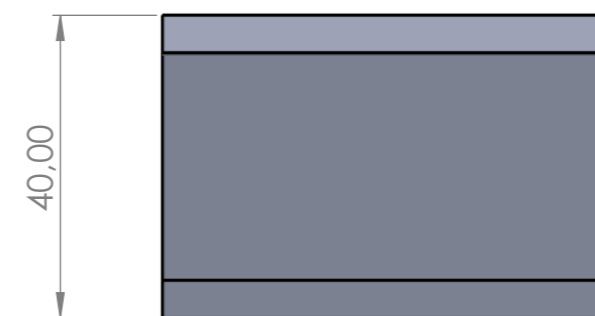
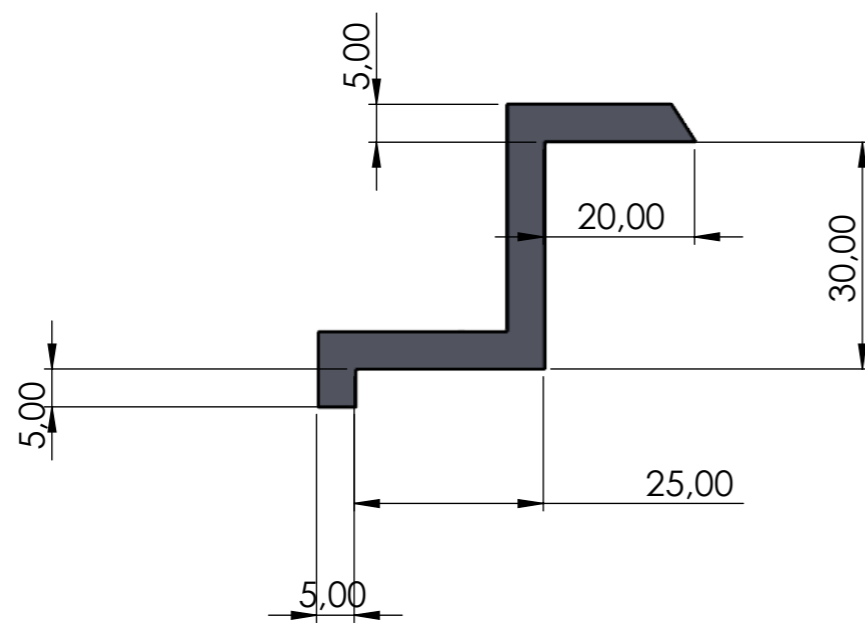
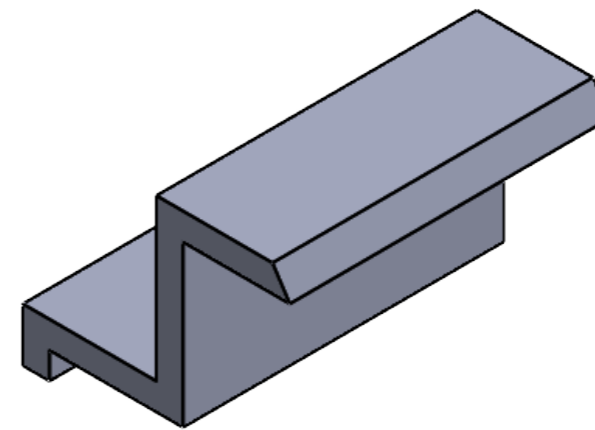
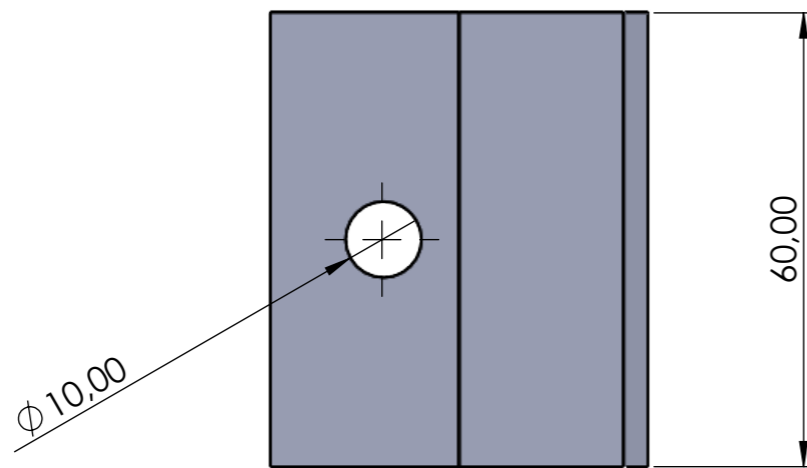
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID				
PROYECTO:		INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 100 KW NOMINALES PARA AUTOCONSUMO		
Situación:		Polígono Industrial Valdeherra 17(E), Villacastín (Segovia)		UTM: Huso: 30T X: 379055 y: 4515966
Plano Nº:	5	ESQUEMA TRIFILAR		Fecha: 28-03-2023
Dibujado: Oscar Rodriguez	Trabajo Nº: TFG	Escala: N/A	Tamaño: A3	Rev.: 1.a



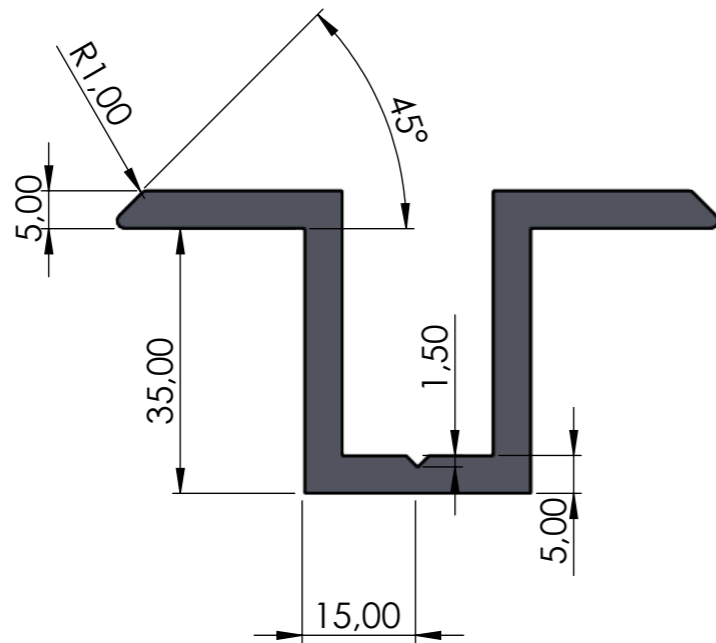
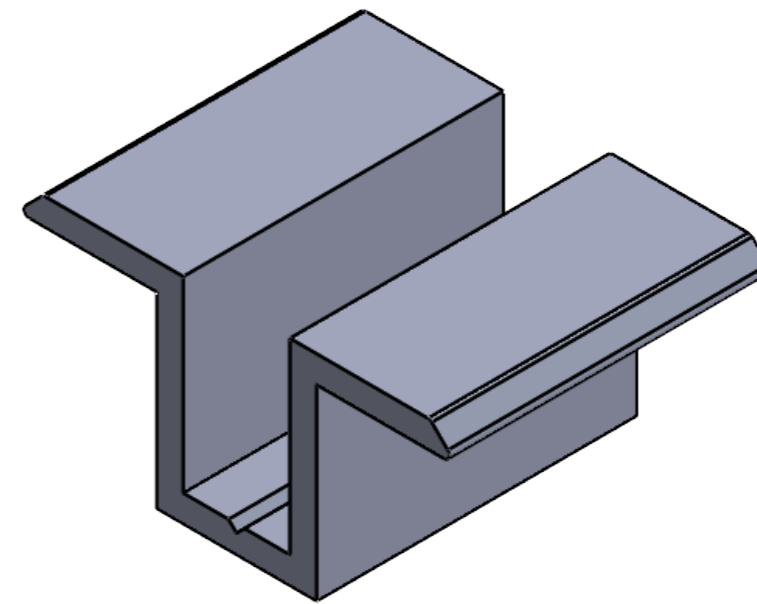
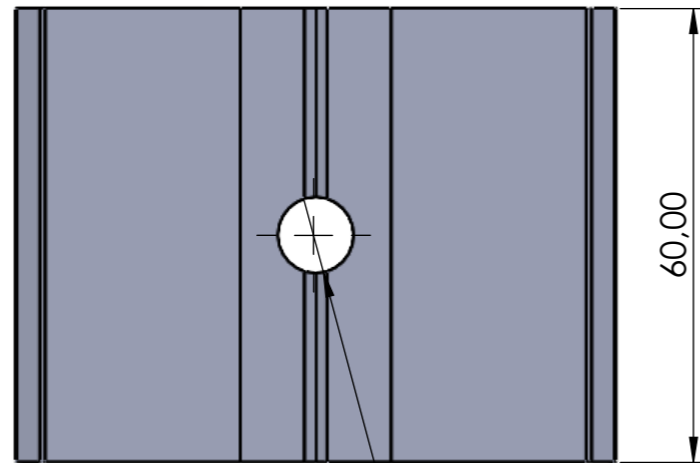
TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO Pata trasera 8mm	Escala 1/5
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023



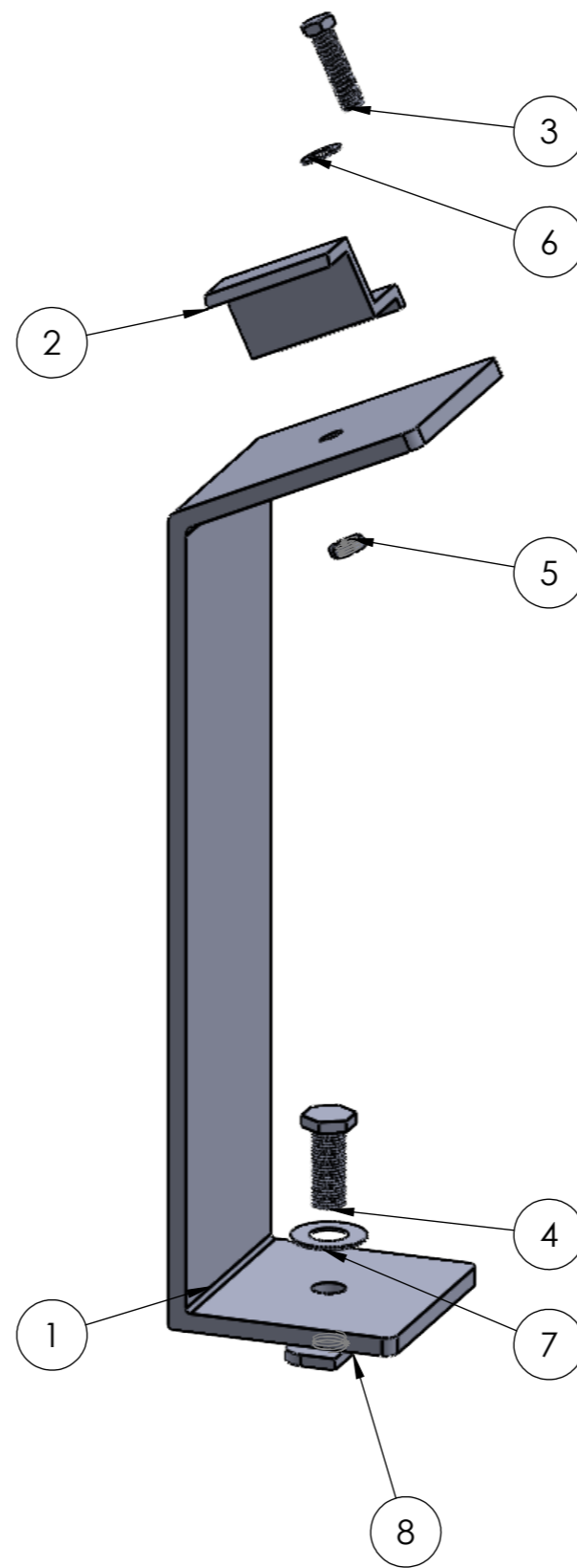
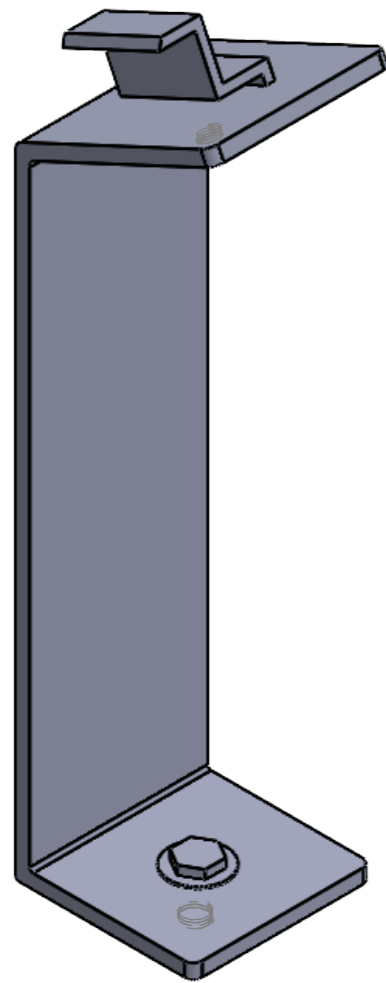
TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO Pata delantera 8mm	Escala 1/2
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023



TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO Grapa final	Escala 1/1
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023

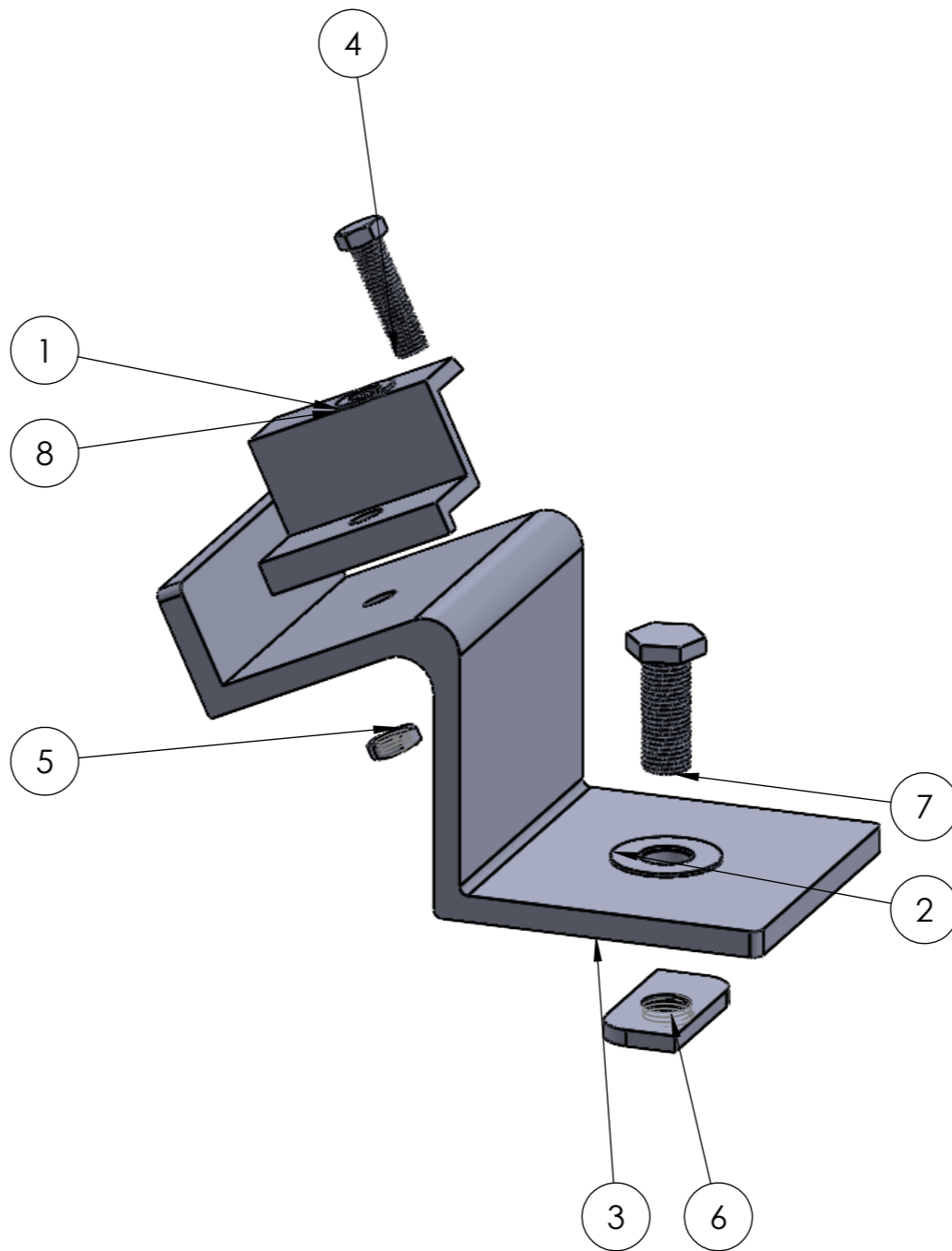
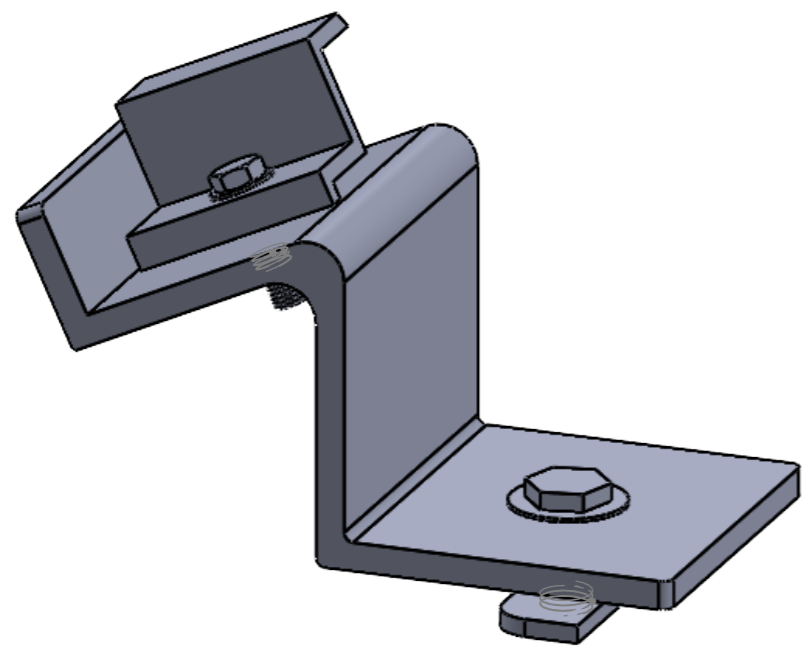


TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO Grapa Intermedia	Escala 1/1
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023



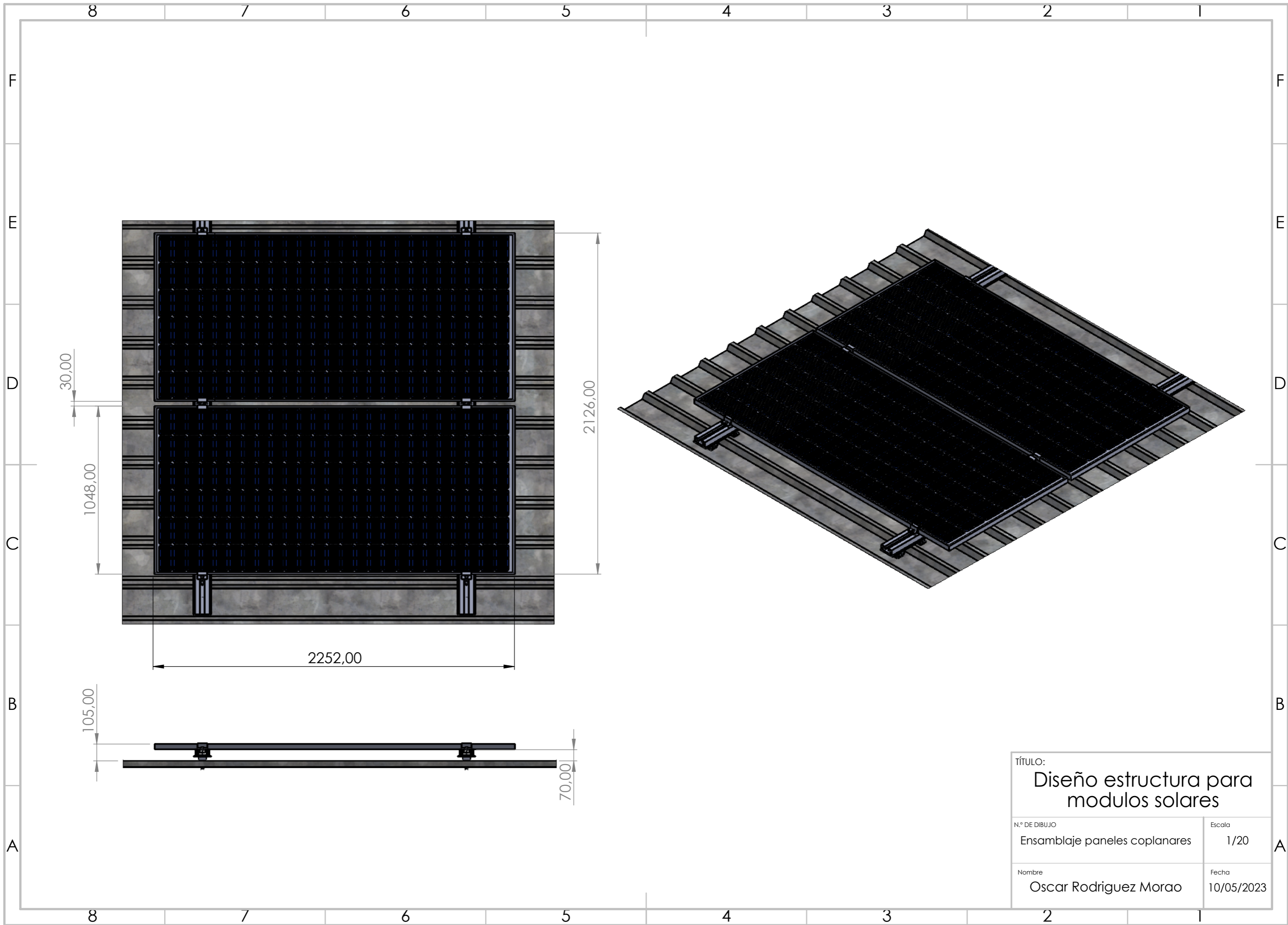
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	estructura 20grados grande	1
2	Junta final	1
3	Tornillo 10x1.5	1
4	Tornillo 14x1.5	1
5	tuerca 10x1.25	1
6	Arandela 10D	1
7	Arandela 14D	1
8	soporte 52mm	1

TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO Estructura trasera ensamblaje	Escala 1/3
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Arandela 10D	1
2	Arandela 14D	1
3	estructura 20grados pequeña	1
4	Tornillo 10x1.5	1
5	tuerca 10x1.25	1
6	soporte 52mm	1
7	Tornillo 14x1.5	1
8	Junta final	1

TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO estructura pequeña ensamblaje	Escala 1/2
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023



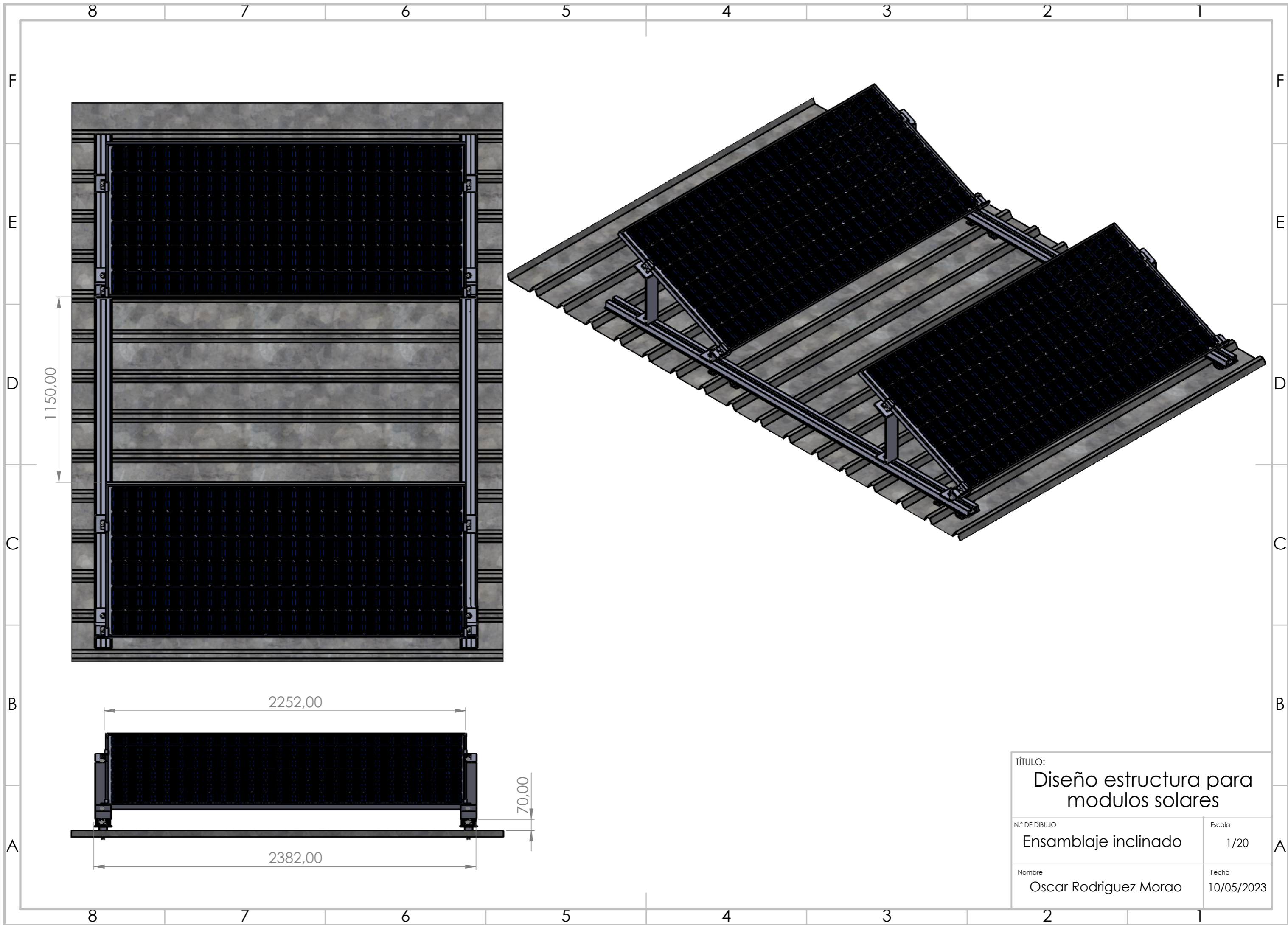
TÍTULO:
**Diseño estructura para
 modulos solares**

N.º DE DIBUJO
 Ensamblaje paneles coplanares

Escala
 1/20

Nombre
 Oscar Rodriguez Morao

Fecha
 10/05/2023



TÍTULO: Diseño estructura para modulos solares	
N.º DE DIBUJO Ensamblaje inclinado	Escala 1/20
Nombre Oscar Rodriguez Morao	Fecha 10/05/2023

Anexos.

- 1. Referencia catastral.**
- 2. Cálculos PGMIS.**
- 3. Ficha técnica panel solar.**
- 4. Ficha técnica inversor.**
- 5. Ficha técnica perfil soporte.**
- 6. Ficha técnica aleación de aluminio.**
- 7. Ficha técnica arandela plana.**
- 8. Ficha técnica tornillos.**



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE HACIENDA Y FUNCIÓN PÚBLICA

SECRETARÍA DE ESTADO DE HACIENDA

DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO

CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA DE DATOS CATASTRALES DE BIEN INMUEBLE

Referencia catastral: 40263A021001650001ZO

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Localización:

PL POLIGONO INDUSTRIAL 17[E] Suelo
40150 VILLACASTIN [SEGOVIA]

Clase: URBANO

Uso principal: Suelo sin edif.

Superficie construida:

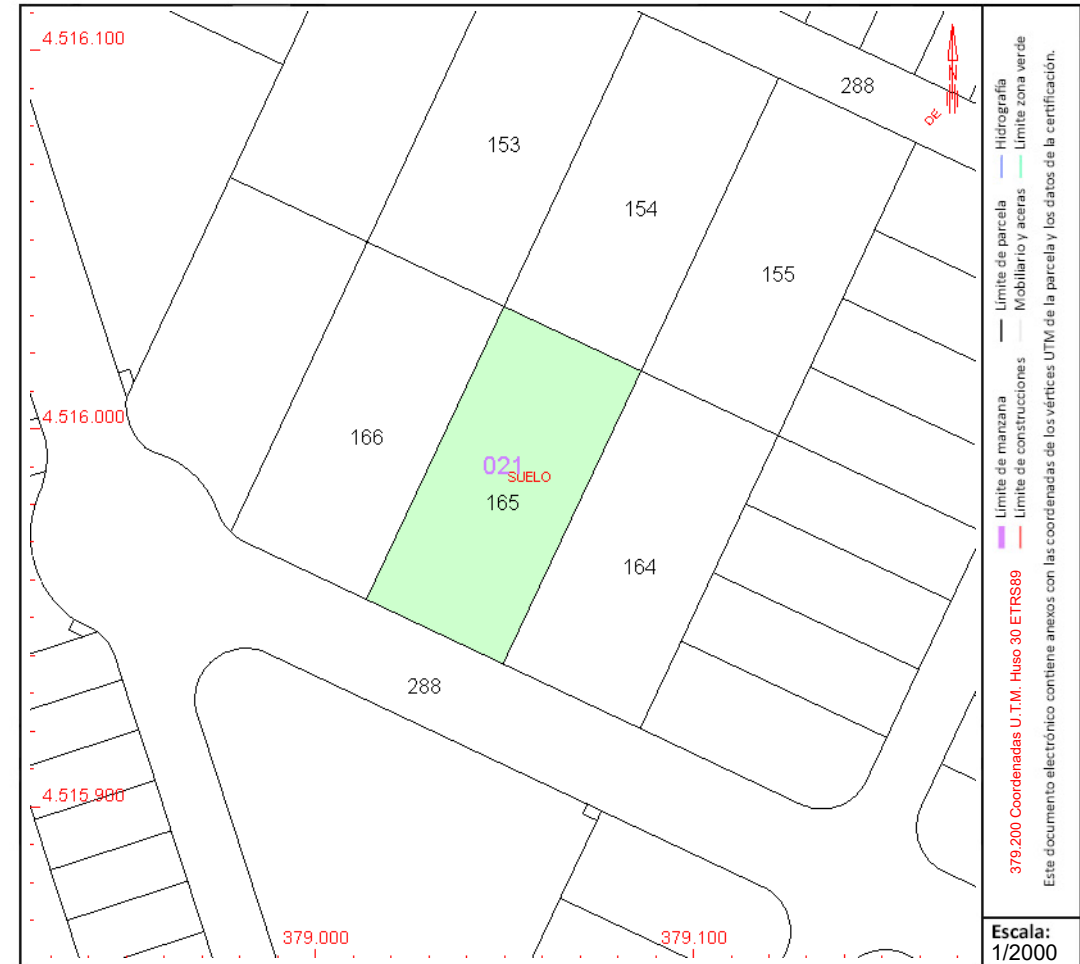
Año construcción:

PARCELA

Superficie gráfica: 3.420 m2

Participación del inmueble: 100,00 %

Tipo:



Este documento no es una certificación catastral, pero sus datos pueden ser verificados a través del "Acceso a datos catastrales no protegidos de la SEC"

Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

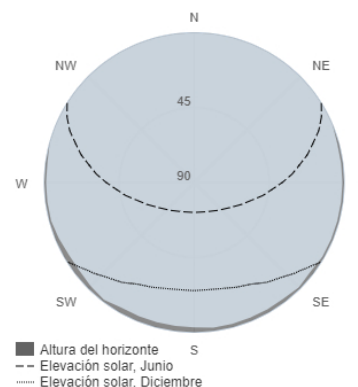
Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 40.786,-4.433
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH2
 Tecnología FV: Silicio cristalino
 FV instalado: 68.4 kWp
 Pérdidas sistema: 10 %

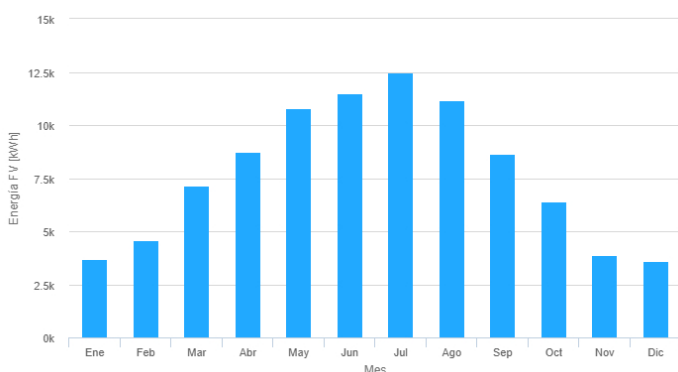
Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 10 °
 Ángulo de azimut: -67 °
 Producción anual FV: 92640.44 kWh
 Irradiación anual: 1693.32 kWh/m²
 Variación interanual: 3107.13 kWh
 Cambios en la producción debido a:
 Ángulo de incidencia: -3.49 %
 Efectos espectrales: 0.52 %
 Temperatura y baja irradiancia: -8.4 %
 Pérdidas totales: -20.02 %

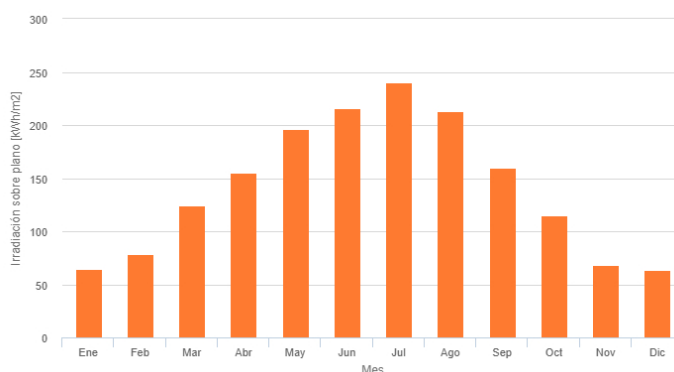
Perfil del horizonte en la localización seleccionada



Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



Irradiación mensual sobre plano fijo:



Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	3676.1	64.4	603.0
Febrero	4572.3	78.7	892.9
Marzo	7172.3	124.5	1045.1
Abril	8725.6	155.0	880.8
Mayo	10786.3	196.0	1084.7
Junio	11486.1	216.1	664.5
Julio	12496.6	239.9	293.5
Agosto	11186.8	213.1	374.6
Septiembre	8646.6	159.6	384.0
Octubre	6397.9	114.6	606.4
Noviembre	3899.4	68.3	523.3
Diciembre	3594.5	63.3	567.5

E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

Rendimiento de un sistema FV conectado a red

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar:

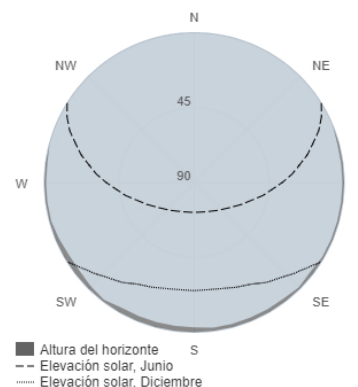
Datos proporcionados:

Latitud/Longitud: 40.786,-4.433
 Horizonte: Calculado
 Base de datos: PVGIS-SARAH2
 Tecnología FV: Silicio cristalino
 FV instalado: 34.2 kWp
 Pérdidas sistema: 10 %

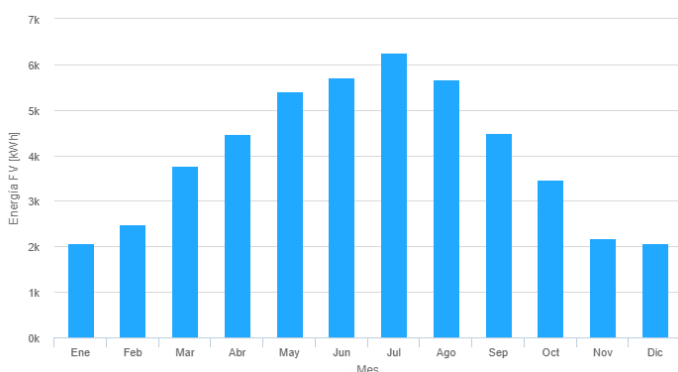
Resultados de la simulación

Ángulo de inclinación: 10 °
 Ángulo de azimut: 23 °
 Producción anual FV: 48094.21 kWh
 Irradiación anual: 1758.32 kWh/m²
 Variación interanual: 1608.67 kWh
 Cambios en la producción debido a:
 Ángulo de incidencia: -3.34 %
 Efectos espectrales: 0.56 %
 Temperatura y baja irradiancia: -8.57 %
 Pérdidas totales: -20.02 %

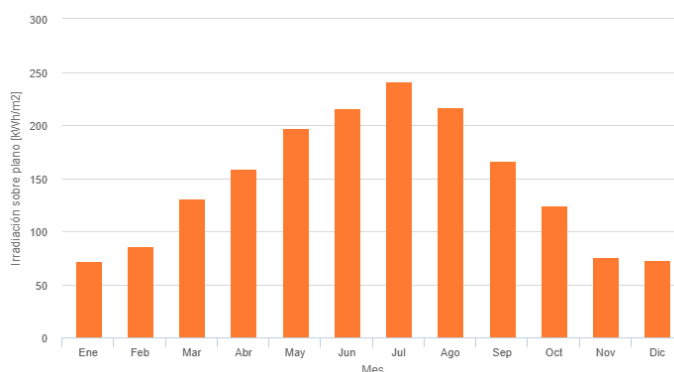
Perfil del horizonte en la localización seleccionada



Producción de energía mensual del sistema FV fijo:



Irradiación mensual sobre plano fijo:



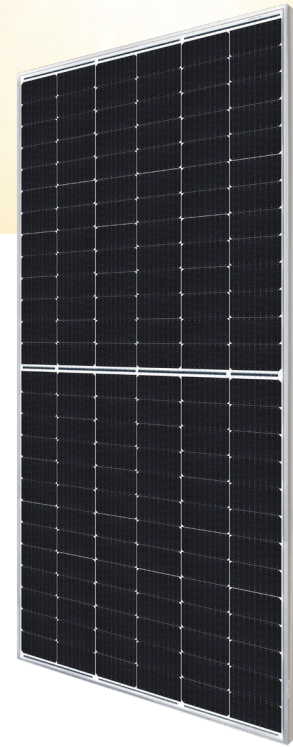
Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	2082.3	72.0	376.1
Febrero	2493.4	85.7	500.8
Marzo	3775.1	131.3	560.3
Abril	4467.7	159.3	443.8
Mayo	5408.4	197.2	548.9
Junio	5720.8	215.9	326.4
Julio	6250.2	241.0	181.3
Agosto	5673.4	217.0	213.5
Septiembre	4499.3	166.7	263.0
Octubre	3457.4	123.9	329.1
Noviembre	2184.7	75.9	323.9
Diciembre	2081.6	72.4	341.7

E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].



HiKu5 Mono

475 W ~ 500 W

CS3Y-475 | 480 | 485 | 490 | 495 | 500MS

MORE POWER

- Module power up to 500 W
Module efficiency up to 21.2 %
- Lower LCOE & BOS cost, cost effective product for utility power plant
- Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
- Compatible with mainstream trackers
- Better shading tolerance

MORE RELIABLE

- Minimizes micro-crack impacts
- Heavy snow load up to 5400 Pa, enhanced wind load up to 2400 Pa*

12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

25 Years Linear Power Performance Warranty*

**1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%**

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

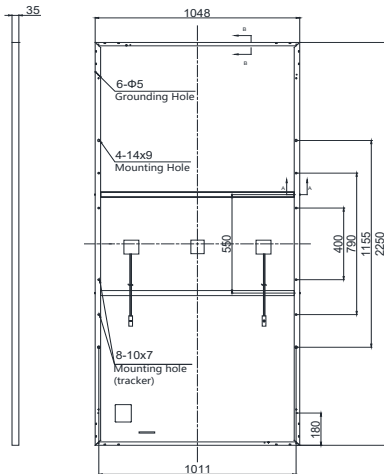
* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

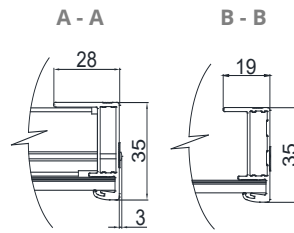
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

ENGINEERING DRAWING (mm)

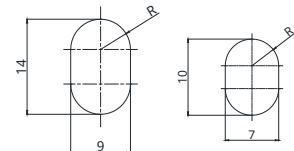
Rear View



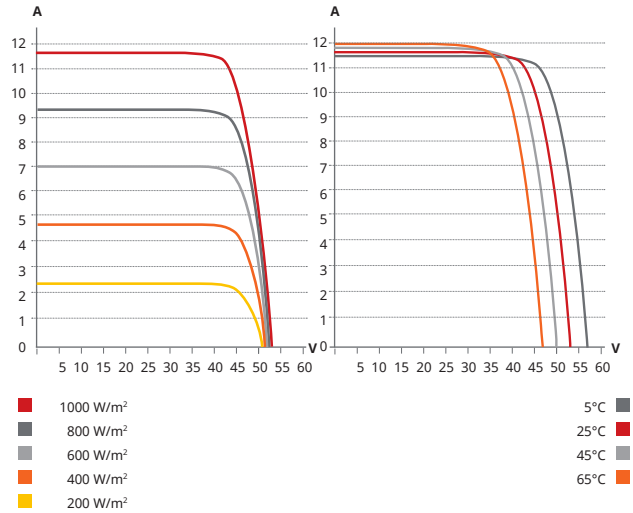
Frame Cross Section



Mounting Hole



CS3Y-490MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3Y	475MS	480MS	485MS	490MS	495MS	500MS
Nominal Max. Power (Pmax)	475 W	480 W	485 W	490 W	495 W	500 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V	45.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.81 A	10.87 A	10.94 A	11.00 A	11.06 A	11.12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	52.7 V	52.9 V	53.1 V	53.3 V	53.5 V	53.7 V
Short Circuit Current (Isc)	11.52 A	11.57 A	11.62 A	11.67 A	11.72 A	11.77 A
Module Efficiency	20.1%	20.4%	20.6%	20.8%	21.0%	21.2%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

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

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3Y	475MS	480MS	485MS	490MS	495MS	500MS
Nominal Max. Power (Pmax)	354 W	358 W	362 W	365 W	369 W	373 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	41.0 V	41.2 V	41.4 V	41.6 V	41.8 V	42.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.64 A	8.69 A	8.75 A	8.79 A	8.83 A	8.89 A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.6 V	49.8 V	50.0 V	50.2 V	50.3 V	50.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.29 A	9.33 A	9.38 A	9.42 A	9.46 A	9.50 A

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	156 [2 X (13 X 6)]
Dimensions	2250 X 1048 X 35 mm (88.6 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	26.3 kg (58.0 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, 2 crossbars enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

SUN2000-100KTL-M1

Inversor de String Inteligente



10 Seguidores MPP



98.8% Máx. Eficiencia



Monitorización a nivel de string



Diagnóstico inteligente de curvas I-V admitido



Detección de corriente residual integrada



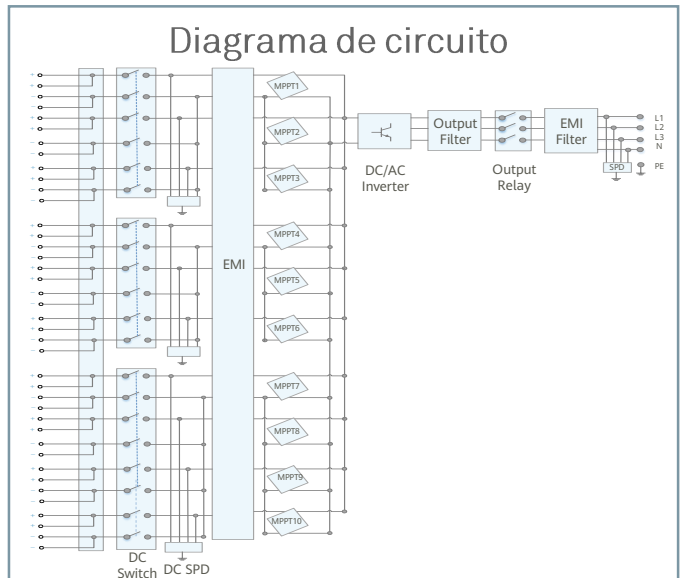
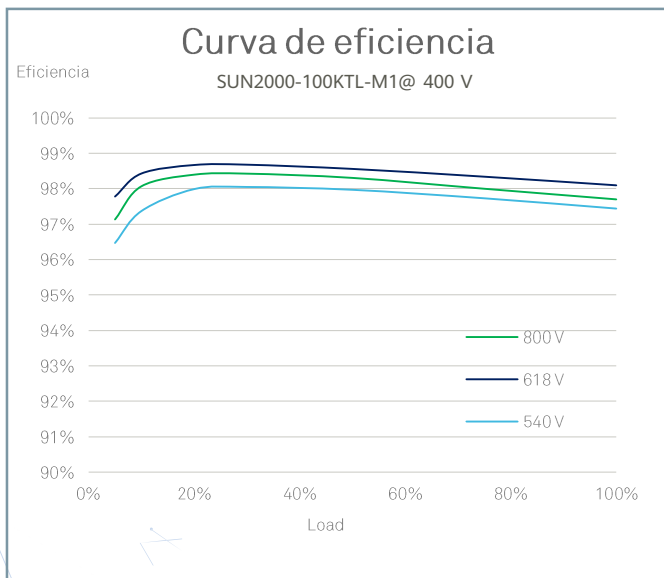
Diseño sin fusibles



Protección contra sobretensiones DC y AC



IP66 Protección



Preliminary Version

Especificaciones técnicas

Eficiencia	
Máx. Eficiencia	98.8% @480 V; 98.6% @380 V/400 V
Eficiencia europea	98.6% @480 V; 98.4% @380 V/400 V
Entrada	
Máx. tensión de entrada	1,100 V
Máx. intensidad por MPPT	26 A
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	40 A
Tensión de entrada inicial	200 V
Rango de tensión de operación de MPPT	200 V ~ 1,000 V
Tensión nominal de entrada	570 V @380 V; 600 V @400 V; 720 V @480 V
Número de entradas	20
Número de MPPTs	10
Salida	
Potencia nominal activa de CA	100,000 W (380 V / 400 V / 480 V @40°C)
Máx. potencia aparente de CA	110,000 VA
Máx. potencia activa de CA ($\cos\phi=1$)	110,000 W
Tensión nominal de salida	220 V / 230 V, default 3W + N + PE; 380 V / 400 V / 480 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad de salida nominal	152.0 A @380 V; 144.4 A @400 V; 120.3 A @480 V
Máx. intensidad de salida	168.8 A @380 V; 160.4 A @400 V; 133.7 A @480 V
Factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	<3%
Protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado CC	Sí
Protección contra funcionamiento en isla	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa de CC	Sí
Monitorización de fallas en strings de sistemas fotovoltaicos	Sí
Protector contra sobretensiones de CC	Tipo II
Protector contra sobretensiones de CA	Tipo II
Detección de aislamiento de CC	Sí
Unidad de monitorización de la intensidad Residual	Sí
Comunicaciones	
Monitor	Indicadores LED, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Sí
RS485	Sí
MBUS	Sí (Transformador de aislamiento requerido)
General	
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	1,035 x 700 x 365mm (40.7 x 27.6x 14.4 pulgadas)
Peso (con soporte de montaje)	90 kg (198.4 lb.)
Rango de temperatura de operación	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Enfriamiento	Ventilación inteligente
Altitud de operación	4,000 m (13,123 ft.)
Humedad relativa	0 ~ 100%
Conector de CC	Staubli MC4
Conector de CA	Conector resistente al agua + OT/DT Terminal
Clase de protección	IP66
Topología	Sin transformador
Cumplimiento estándar (Más información disponible a pedido)	
Certificados	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683

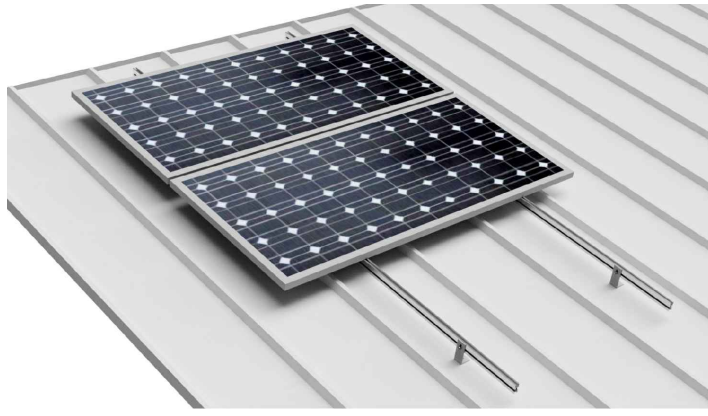


Preliminary Version

Ficha técnica

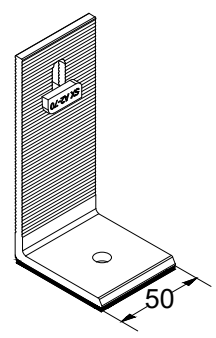
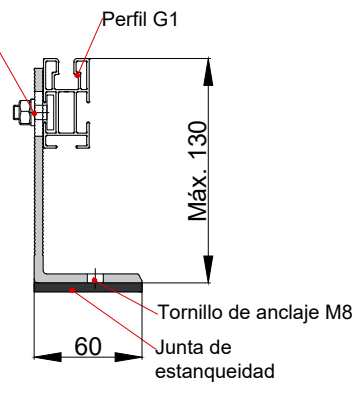
Soporte coplanar continuo fijación a correas

03V



Nota: Comprobar el nº de correas

Tornillo cabeza de martillo M8 para anclaje de guía



- Soporte coplanar para anclaje a correas metálicas
- Valido para de cubiertas metálicas
- La fijación incluye junta de estanqueidad
- Disposición de los módulos: Vertical.
- Valido para espesores de módulos de 30 hasta 45 mm
- No recomendado para viguetas de hormigón pretensado.
- Kits disponibles de 1 a 6 módulos.

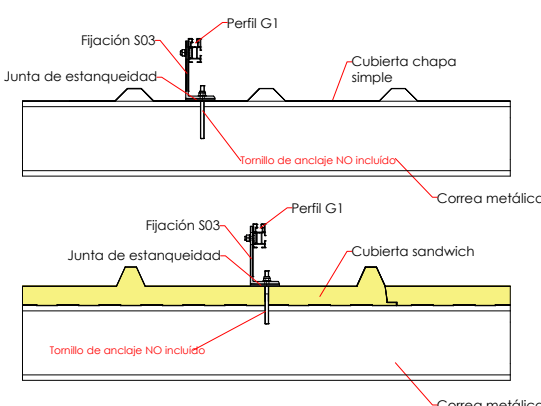
Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades del viento)
Materiales: Perfilería de aluminio EN AW 6005A T6
 Tornillería de acero inoxidable A2-70
 Comprobar el buen estado y la capacidad portante de la cubierta antes de cualquier instalación.
 Comprobar la impermeabilidad de la fijación una vez colocada.

Dos opciones:

Para módulos de hasta **2279x1150 - Sistema Kit**
 (Ver página 2)

Para módulos de hasta **2400x1350 - Sistema PS**
 (Ver página 3)

*Para anclaje, se recomienda usar un tornillo con arandela de sellado



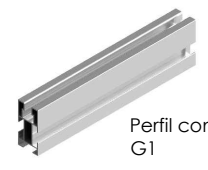
Par de apriete:

Tornillo Presor	7 Nm
Tornillo M8 Hexagonal	20 Nm
Tornillo M10 Hexagonal	40 Nm
Tornillo M6.3 Hexagonal	10 Nm

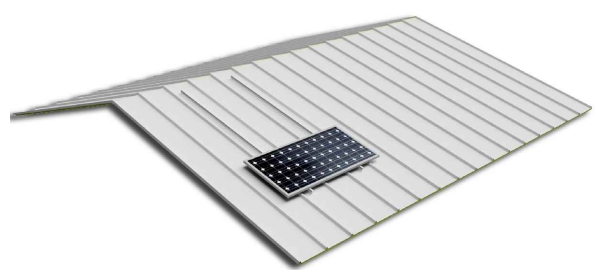
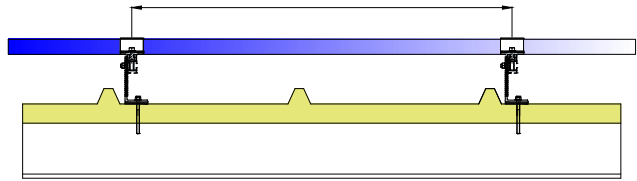
Carga de nieve: 40 kg/m²

100% Reciclable

Marcado ES19/86524 CE



Para la distancia de anclajes de los módulos consultar ficha técnica del módulo



Perfiles perpendiculares a la cumbrera

Herramientas necesarias:



Seguridad:



Reservado el derecho a efectuar modificaciones · Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.





Ficha técnica - Sistema KIT

Para módulos de hasta 1150

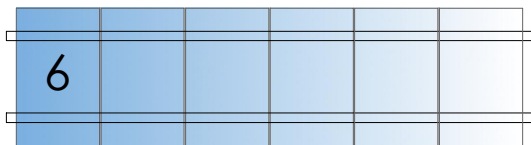
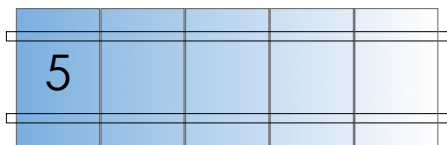
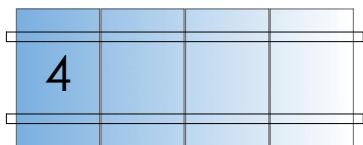
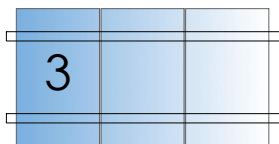
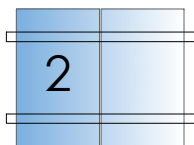
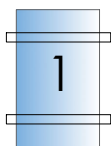


Para módulos de hasta 2279x1150 - Sistema KIT

2279x1150

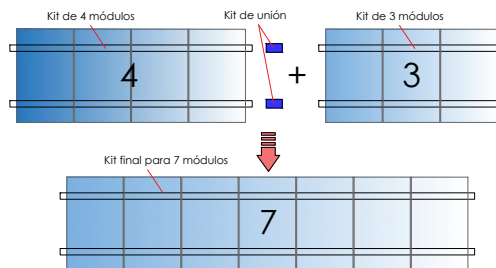


Kits disponibles:

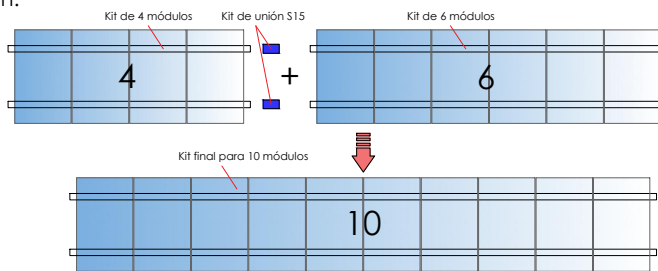


EJEMPLOS DE CONFIGURACIÓN

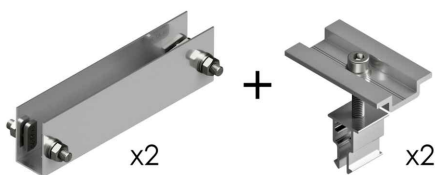
Para realizar una fila de 7 módulos se realizaría con 1 Kit de 4 + 1 Kit de 3 + 1 Kit de unión



Para realizar una fila de 10 módulos se realizaría con 1 kit de 4 + 1 Kit de 6 + 1 Kit de unión.



S15 Kit de unión



* Por dilataciones se recomienda no exceder de más de 20 metros por fila

Reservado el derecho a efectuar modificaciones. Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.

Ficha técnica - Sistema PS

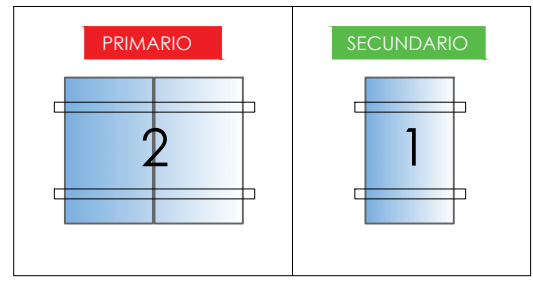
Para módulos de gran formato hasta 1350



Para módulos de hasta **2400x1350** - Sistema PS

2400x1350

Kits disponibles:



Sistema modular para instalaciones con módulos de gran formato de hasta 2400x1350.

El sistema consta de **1 kit primario** y X número de **kit secundario**

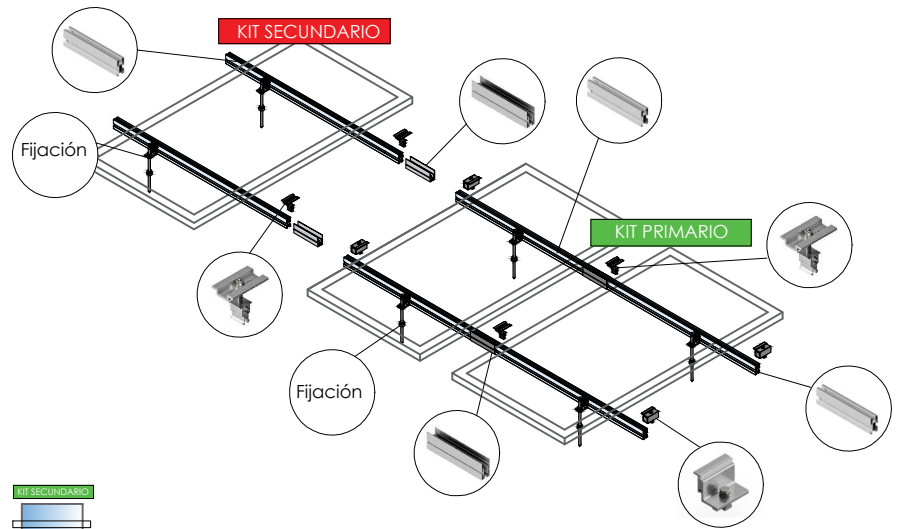
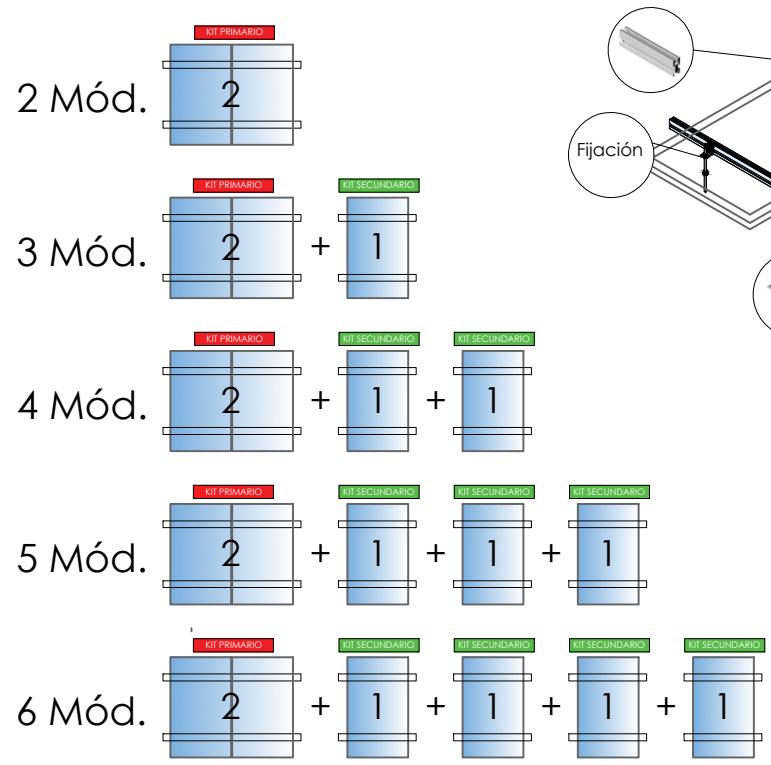
El Kit primario es un Kit para 2 módulos.

El Kit secundario es un producto complementario de 1 módulo para unirse al Kit primario al incorporar el Kit de unión.

SOPORTES COPLANARES COMPATIBLES CON EL SISTEMA PS



EJEMPLOS DE CONFIGURACIÓN



Reservado el derecho a efectuar modificaciones · Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.



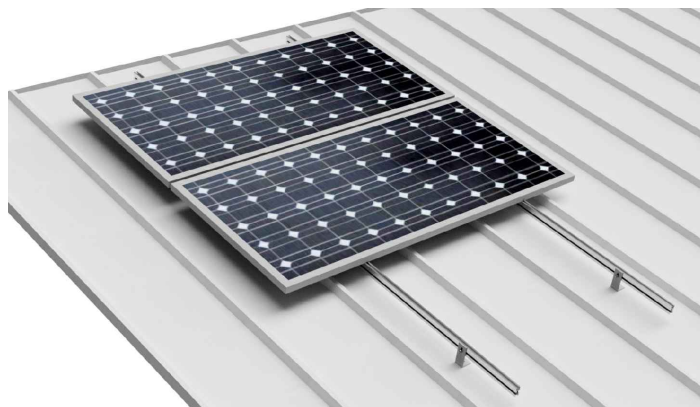
* Por dilataciones se recomienda no exceder de más de 20 metros por fila

Velocidades de viento

Soporte coplanar continuo fijación a correas

03V

Sistema kit



- **Cargas de viento:** Según túnel del viento en modelo computacional CFD
- **Cálculo estructural:** Modelo computacional comprobado mediante EUROCÓDIGO 9 "PROYECTO ESTRUCTURAS DE ALUMINIO"



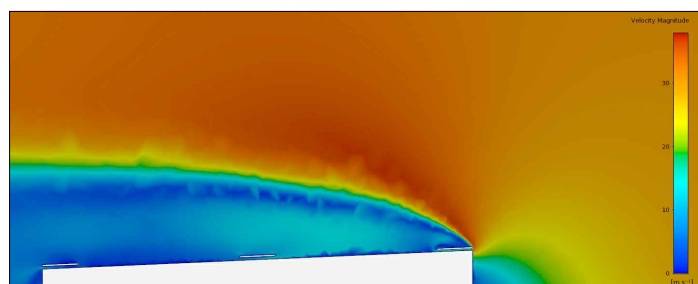
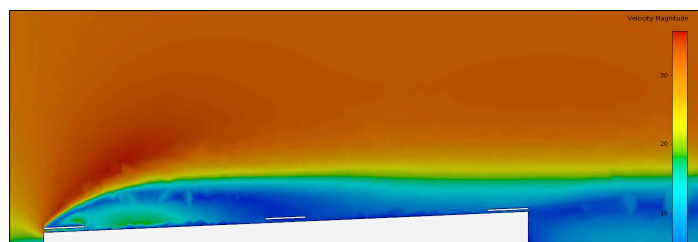
 Cuadro de velocidades máx. admisibles de viento								
Tamaño del módulo 	1	2	3	4	5	6	nº de módulos	Velocidad de viento km/h
2000x1000	150	150	150	150	150	150	150	
2279x1150	150	150	150	150	150	150	150	

Tabla 1 - Velocidades máximas de viento admisibles.

- Para garantizar la resistencia a la velocidad máxima de diseño se deberán utilizar anclajes adecuados.



Flujo viento norte - En estructura coplanar.



Flujo viento sur - En estructura coplanar.

Para cumplir con las velocidades máximas admisibles de viento especificadas en la tabla 1, se deberán respetar todas las instrucciones indicadas en los planos de montaje.
Se debe comprobar que los puntos de anclaje para los módulos son compatibles con las especificaciones del fabricante.

6061 Aluminum Alloy: Properties

General Characteristics

Characteristic	Appraisal
Strength	Medium to High
Corrosion Resistance	Good
Weldability & Brazability	Good
Workability	Good
Machinability	Good

Chemical Composition

Element	Minimum %	Maximum %
Magnesium	0.8	1.2
Silicon	0.4	0.8
Iron	No Min	0.7
Copper	0.15	0.4
Manganese	No Min	0.15
Chromium	0.04	0.35
Zinc	No Min	0.25
Titanium	No Min	0.15
Other Elements	No Min	0.05 each, 0.15 in total

Physical Properties

Property	6061-T4	6061-T6
Density	2.70 g/cc 0.0975 lb/in ³	2.70 g/cc 0.0975 lb/in ³

Mechanical Properties

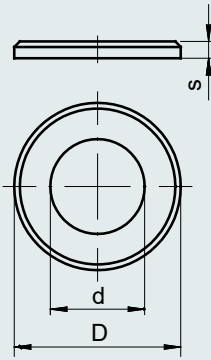
Property	6061-T4	6061-T6
Tensile Strength	241 MPa 35000 psi	310 MPa 45000 psi
Yield Strength	145 MPa 21000 psi	276 MPa 40000 psi
Modulus of Elasticity	68.9 GPa 10000 ksi	68.9 GPa 10000 ksi

Thermal Properties

Property	6061-T4	6061-T6
Coefficient of Thermal Expansion @ 20.0 - 100 °C Temp	23.6 μm/m-°C 13.1 μin/in-°F	23.6 μm/m-°C 13.1 μin/in-°F
Thermal Conductivity	154 W/m-K 1070 BTU-in/hr-ft ² -°F	167 W/m-K 1160 BTU-in/hr-ft ² -°F

DIN 125 A ISO 7089
DIN 125 B ISO 7090

ARANDELA PLANA



MATERIAL: ACERO

DUREZA: 140 HV - 200 HV - 300 HV

RECUBRIMIENTO: Zincado / pulido

APLICACIÓN: Apoyo de la tuerca o cabeza del tornillo, cuando el material que se ha de unir entre sí es más blando que el de la tuerca o el tornillo, o si la superficie de apoyo no es lisa.

DIMENSIONES

	d	D	s
M 4	4,3	9	0,8
M 5	5,3	10	1
M 6	6,4	12	1,6
M 7	7,4	14	1,6
M 8	8,4	16	1,6
M 10	10,5	20	2
M 12	13	24	2,5
M 13	13,5	24	2,5
M 14	15	28	2,5
M 16	17	30	3
M 18	19	34	3
M 20	21	37	3
M 22	23	39	3
M 24	25	44	4
M 26	27	50	4
M 27	28	50	4

	d	D	s
M 30	31	56	4
M 33	34	60	5
M 36	37	66	5
M 39	40	72	6
M 42	43	78	7
M 45	46	85	7
M 48	50	92	8
M 52	54	98	8
M 56	58	105	9
M 60	62	110	9
M 64	66	115	9
M 68	70	120	10
M 72	74	125	10
M 76	78	135	10
M 80	82	140	12
M 90	93	160	12

PESOS

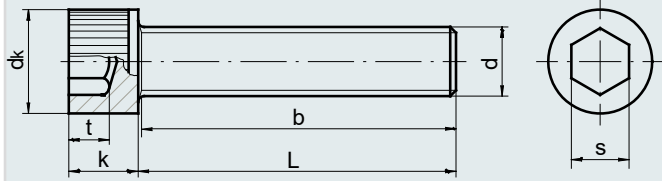
	Peso Kg 1000 piezas
M 4	0,308
M 5	0,443
M 6	1,14
M 7	1,39
M 8	2,14
M 10	4,08
M 12	6,27
M 13	
M 14	8,60
M 16	11,3
M 18	14,7
M 20	17,2
M 22	18,4
M 24	32,3
M 26	43,7
M 27	42,3

	Peso Kg 1000 piezas
M 30	53,6
M 33	75,4
M 36	92,0
M 39	133
M 42	183
M 45	220
M 48	294
M 52	330
M 56	425
M 60	458
M 64	492
M 68	586
M 72	625
M 76	748
M 80	952
M 90	1250

DIN 912

ISO 4762

**TORNILLO ALLEN CABEZA
CILÍNDRICA**



MATERIAL: ACERO

CALIDAD: 8.8

APLICACIÓN: Se utiliza como elemento de unión. Entre sus características están la de no sobresalir del elemento superior que se quiere unir y el necesitar menos espacio para el apriete mediante llave.

DIMENSIONES

d	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
Paso	0,7	0,8	1	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4
b	20	22	24	26	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	78	84
dk	7	8,5	10	12	13	16	18	21	24	27	30	33	36	40	45	50	54
k	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
s	3	4	5	6	6	8	10	12	14	14	17	17	19	19	22	24	27
t	2	2,5	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13,5	15,5	18	19

L	Peso Kg 1000 piezas																
6	1,50																
8	1,65																
10	1,80	2,70	4,70														
16	2,25	3,45	5,75		12,1	20,9											
20	2,65	4,01	6,53		13,4	22,9	32,1										
25	3,15	4,78	7,59		15,0	25,9	35,7										
30	3,65	5,55	8,70		16,9	27,9	39,3	53,0	77,8								
35	4,15	6,32	9,91		18,9	31,0	42,9	58,0	84,4								
40	4,65	7,09	11,0		20,9	34,1	47,3	63,0	91,0	129	150						
45	5,15	7,86	12,1		22,9	37,2	51,7	69,0	97,6	137	161						
50	5,65	8,63	13,2		24,9	40,3	56,1	75,0	106	147	172	250	300				
55		9,40	14,3		26,9	43,4	60,5	81,0	114	157	183	263	316				
60		10,2	15,4		28,9	46,5	64,9	87,0	122	167	195	276	330				
65					31,0	49,6	69,3	93,0	130	177	207	291	345				
70					33,0	52,7	73,7	99,0	138	187	220	306	363	440			
80					37,0	58,9	82,5	111	154	207	244	336	399	484	690		
90					41,0	65,1	91,3	123	170	227	269	366	435	529	745		
100					45,0	71,3	100	135	186	247	294	396	471	574	800	970	1230
110						77,4	109	147	202	267	319	426	507	619	855	1040	1310
120						83,6	118	159	218	287	344	456	543	664	910	1110	1390
130									234	307	369	486	579	709	965	1180	1470
140									250	327	394	516	615	754	1020	1250	1550
150									266	347	419	546	651	799	1080	1320	1630
160											444	576	687	844	1130	1390	1710
170											469	606	723	889	1190	1460	1790
180											494	636	759	934	1240	1530	1870
190												666	785	979	1300	1600	1950
200												696	820	1020	1350	1670	2030