

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

< CENTRAL FOTOVOLTAICA 20 MWe >

Alumno Ahedo Allende, Gonzalo
Director de la Peña Aranguren, Víctor
Departamento Departamento de motores Térmicos
Curso académico 2018-2019

Bilbao 25 de febrero de 2019

RESUMEN TRILINGÜE

Español:

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una central fotovoltaica de 20 MW situada en Extremadura, España. Para ello, se comenzará con la elección del terreno. Más adelante se elegirán los paneles y los inversores correspondientes. Una vez seleccionados estos elementos, se procederá a la óptima colocación de estos con el objetivo de obtener el menor LCOE (Levelized Cost Of Electricity) posible. Finalmente, se realizará el estudio eléctrico desde la central hasta la subestación de media tensión.

Euskara:

Proiektu honen helburua Extremaduran (Espainia) kokatutako 20 MW-ko zentral fotovoltaiko baten diseinua da. Horretarako, lurraren aukerarekin hasiko da. Hurrengo oinatsan, panelak eta dagozkion inbertsoreak hautatuko dira. Behin elementu hauek aukeratuta, haien kokapen optimoarekin jarraituko da ahalik eta LCOE (Levelized Cost Of Electricity) txikiena lortzeko helburuarekin. Amaitzeko, zentraletik tentsio ertainako azpiestaziorainoko azterketa elektrikoa egingo da.

English:

The purpose of this project is to design a 20 MW photovoltaic plant located at Extremadura, Spain. For that, the first step is to select a concrete place. The next step is to select the appropriate panels and inverters. Once that is chosen, an optimal placement is studied in order to achieve the lowest LCOE (Levelized Cost Of Electricity) possible. To finish, an electrical study will be done from the plant to the MV substation.



ÍNDICE

LISTA DE TABLAS E ILUSTRACIONES	1
MEMORIA	1
1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONTEXTO.....	1
3. OBJETIVOS.....	3
4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO.....	4
5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.....	5
6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	7
METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	27
7. DIAGRAMA DE GANTT	27
8. MEDIOS Y TÉCNICAS BÁSICAS	28
9. CÁLCULOS.....	32
10. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	38
ASPECTOS ECONÓMICOS	40
11. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO	40
CONCLUSIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXO I: Planos, esquemas, diseño de detalle o de bajo nivel, código	45

LISTA DE TABLAS E ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Irradiación global anual.....	2
Ilustración 2 - Irradiación global mes a mes.....	2
Ilustración 3 – Terreno	3
Ilustración 4 - Evolución potencia fotovoltaica instalada en España.....	6
Ilustración 5 - Mapa de radiación solar.....	7
Ilustración 6 - Hot spot.....	8
Ilustración 7 - Función de los diodos bypass.....	8
Ilustración 8 - Esquema panel 72 células	9
Ilustración 9 - Orientación óptima para evitar sombras	9
Ilustración 10 - Conexiones	10
Ilustración 11 - Conexiones	10
Ilustración 12 - Horizonte Google Earth.....	11
Ilustración 13 - Horizonte PVsyst	11
Ilustración 14 - Curva IV	12
Ilustración 15 - Efecto de la temperatura	12
Ilustración 16 - Efecto de la irradiación.....	13
Ilustración 17 - Azimut 0º. Orientación sur.....	16
Ilustración 18 - Rayos solares en distintas épocas del año	17
Ilustración 19 - Control por onda cuadrada.....	19
Ilustración 20 - Modulación por anchura de pulso.....	19
Ilustración 21 - Inversor de medio puente sin punto neutro.....	20
Ilustración 22 - Inversor de medio puente con punto neutro.....	20
Ilustración 23 - Inversor de puente completo.....	21
Ilustración 24 - Tipos de inversores.....	21
Ilustración 25 - Uniendo los paneles con los inversores.....	23
Ilustración 26 - Características principales de las celdas DVCAS seleccionadas.....	25
Ilustración 27 - Características principales de las celdas CBGS-0.....	26
Ilustración 28 - Diagrama de Gantt.....	27
Ilustración 29 . Portátil.....	28
Ilustración 30 – Word.....	29
Ilustración 31 – Excel.....	29
Ilustración 32 – Project	31
Ilustración 33 – PVsyst	31
Ilustración 34 - Dalarna University	31
Ilustración 35 - Dimensiones del terreno.....	32
Ilustración 36 - Conexión paneles solares fotovoltaicos.....	32
Ilustración 37 - Conexión en serie de paneles de distintas potencias	33
Ilustración 38 - Conexión paneles con inversores.....	35
Ilustración 39 - Medidas del terreno.....	35
Ilustración 40 - Medidas de los paneles.....	36
Ilustración 41 - Porción del layout	37



Ilustración 42 - Resultados.....	38
Ilustración 43 - Análisis de pérdidas.....	39
Ilustración 44 - Balance de emisiones de CO2.....	40
Ilustración 45 - Características generales.....	45
Ilustración 46 - Ángulo de incidencia.....	46
Ilustración 47 - Diodos by-pass y coeficientes de temperatura.....	46
Ilustración 48 - Resistencias en serie y paralelo.....	47
Ilustración 49 . Coeficientes de temperatura.....	47
Ilustración 50 - Características geométricas.....	48
Ilustración 51 - Curvas IV a diferentes niveles de irradiación.....	48
Ilustración 52 - Curvas IV a diferentes temperaturas.....	49
Ilustración 53 - Curvas PV a diferentes niveles de irradiación.....	49
Ilustración 54 - Curvas PV a diferentes temperaturas.....	50
Ilustración 55 - Eficiencia en función de la irradiación y la temperatura.....	50
Ilustración 56 - Parámetros principales.....	51
Ilustración 57 - Curva de eficiencia.....	52
Ilustración 58 - Características geométricas.....	52
Ilustración 59 - Presentación general.....	53
Ilustración 60 - Tipos de protecciones.....	54
Ilustración 61 - Tipos de protecciones.....	54
Ilustración 62 - Configuración de celda seleccionada.....	55
Ilustración 63 - Medidas de las celdas DVCAS.....	56
Ilustración 64 - Módulo 1A.....	57
Ilustración 65 - Módulo 1A.....	57
Ilustración 66 - Características técnicas y eléctricas del módulo 1A.....	58
Ilustración 67 - Módulo 1L.....	59
Ilustración 68 - Módulo 1L.....	59
Ilustración 69 - Características técnicas y eléctricas del módulo 1L.....	60
Ilustración 70 - Características técnicas y eléctricas del módulo 0L.....	60
Ilustración 71 - Esquema simplificado de una celda de protección de línea.....	61
Ilustración 72 - Arquitectura general.....	61
Ilustración 73 - Celda de servicios auxiliares.....	62
Ilustración 74 - Características geométricas de las celdas de protección de líneas.....	63
Ilustración 75 - Características geométricas de las celdas de servicios auxiliares.....	64
Ilustración 76 - Características de los transformadores de intensidad de las celdas.....	65
Ilustración 77 - Características de los transformadores de tensión de las celdas.....	65
Tabla 1 - Comparación entre tipos de panel.....	14
Tabla 2 - Características principales del panel.....	15
Tabla 3 - Producción anual a diferentes inclinaciones.....	17
Tabla 4 – Producción anual variando el pitch.....	18
Tabla 5 . Presupuesto.....	40
Tabla 6 – OPEX.....	41

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se va a desarrollar el dimensionamiento de una central fotovoltaica desde la selección del terreno hasta el transporte de la energía generada a la subestación de media tensión.

Para ello, el documento dispone de los siguientes apartados:

- Contexto: se exponen las características generales de la central.
- Objetivos: se muestran los objetivos principales del proyecto.
- Beneficios del proyecto: se estiman los beneficios que este proyecto podría reportar en los ámbitos económico, social y medioambiental.
- Estado del arte: se estudia el sistema energético español, haciendo hincapié en las energías renovables y en especial en la solar fotovoltaica.
- Descripción de la instalación: es la parte técnica del proyecto. En ella se analizan y justifican todas las decisiones tomadas a lo largo del mismo.
- Gantt: se muestra la planificación con la que se ha desarrollado el presente proyecto.
- Medios y técnicas básicas: descripción de los programas empleados para la correcta realización del presente proyecto.
- Cálculos: se desarrollan todos los cálculos desarrollados a lo largo del proyecto.
- Resultados: se muestran los resultados obtenidos.
- Presupuesto: coste total del proyecto.
- Conclusiones: resumen de las ideas más importantes del proyecto.

2. CONTEXTO

La central solar fotovoltaica Badasol está ubicada en el municipio de Castuera, Badajoz, al suroeste de España.

La elección de esta ubicación se justifica con las siguientes razones:

- La zona elegida cuenta con altos niveles de irradiación anuales, lo que finalmente permite generar más energía eléctrica por metro cuadrado de panel instalado. En la siguiente imagen se pueden ver los datos de irradiación anuales por metro cuadrado de panel que se dan en la ubicación exacta del terreno:



Ilustración 1- Irradiación global anual

Una investigación más exhaustiva, permite conocer los datos de irradiación solar global desglosada mes a mes, tal y como se puede apreciar en la siguiente ilustración:

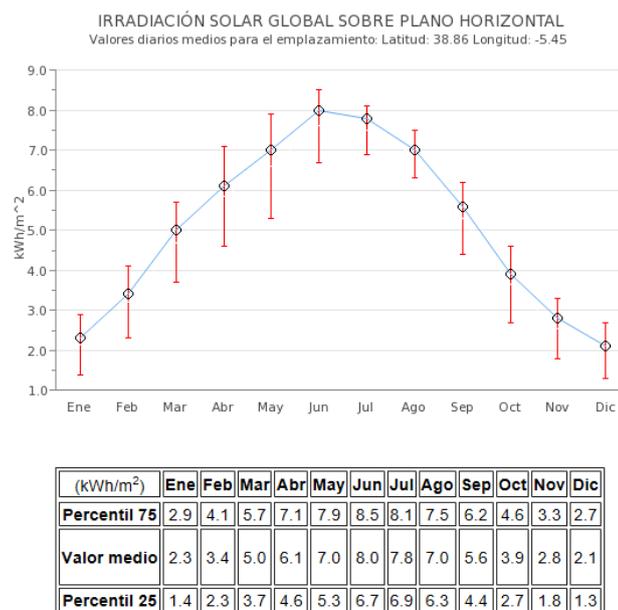


Ilustración 2 - Irradiación global mes a mes

- Se cuenta con un terreno que posee todos los requisitos para poder optimizar tanto la construcción y mantenimiento de la planta como la generación de energía en la misma. Por un lado, tiene unas dimensiones donde ubicar una planta de 20 MW es posible como veremos más adelante:



Ilustración 3 – Terreno

Además, tal y como se aprecia en la figura, el terreno está bien comunicado por carreteras nacionales que permiten el correcto transporte de los materiales para la construcción de la planta, así como el acceso a la misma para posibles inspecciones de mantenimiento.

Por último, la fisonomía del terreno y la escasez de elementos a su alrededor, lo hace un lugar idóneo para la producción de energía solar fotovoltaica, ya que la creación de sombras en los paneles solares va a ser muy reducida, lo que deriva en una mayor eficiencia de la planta.

3. OBJETIVOS

La realización de este proyecto tiene tres objetivos principales.

Por un lado, la instalación de un huerto solar siempre es una noticia positiva no solo a nivel nacional, sino que también mundial. Hoy en día todo el mundo es consciente del gran problema existente a nivel global con el cambio climático. El aumento exponencial a nivel mundial tanto de la población como del consumo energético está alcanzado unos niveles insostenibles para el planeta y desafortunadamente ya estamos sufriendo algunas de las consecuencias de este problema. Es por ello, que esta instalación ahorrará una cierta cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera que ayudará a la contribución de los objetivos marcados mundialmente. Además, este hecho, dotará a España de una independencia y sostenibilidad energética beneficiosa para sus intereses.

Por otro lado, toda construcción necesita de profesionales técnicos y de mano de obra, por lo que la consecución de este proyecto creará puestos de empleo, lo que ayudará a reducir la cifra actual de paro del país.

Por último, este proyecto tiene como objetivo dotar de valor añadido al terreno en cuestión. Actualmente el terreno es un terreno baldío el cual carece de cualquier tipo de valor especial. Gracias a la construcción de este huerto, el terreno pasará a tener un valor bien valorado en el mercado, lo que ayuda económicamente al territorio en el que se encuentra.

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

Teniendo en cuenta los objetivos del presente proyecto, se puede afirmar que el mismo aporta beneficios en tres ámbitos bien diferenciados: beneficios sociales, beneficios medioambientales y beneficios económicos. Todos ellos parten de la base de la generación de energía eléctrica de una manera limpia, eficiente y sostenible, pero cada uno de ellos cuenta con sus propios matices.

Beneficios sociales:

Una de las consecuencias directas de la instalación de una nueva planta fotovoltaica es la generación de empleo, tanto de especialistas en el sector como de mano de obra.

Por otro lado, teniendo en cuenta que España es un país carente de recursos fósiles como el gas natural o el petróleo, la implantación de esta planta supone más independencia para el país a nivel energético. Esto repercute en la sociedad, ya que cuanto más independiente sea el país, menor fluctuación sufrirá el precio de la electricidad del ciudadano cuando el país sufra cualquier tipo de conflicto con los países suministradores de la materia prima para la generación de energía eléctrica en las plantas convencionales.

Beneficios medioambientales:

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable y limpia, ya que su fuente de energía es el sol, evitando de esta forma la quema de combustibles fósiles con sus consecuentes emisiones de CO₂ y la de otros gases responsables del efecto invernadero. Por tanto, a nivel medioambiental, el fomento de las energías renovables es una gran noticia, ya que acerca al país al cumplimiento de los requisitos impuestos a nivel mundial, como pueden ser los acordados en el Protocolo de Kioto.

Beneficios económicos:

Con la realización de este proyecto, se ven beneficiados económicamente dos partes. Por un lado, el dueño de la planta va a obtener una rentabilidad económica, tal y como se muestra en el apartado económico del presente proyecto.

Por otro lado, indirectamente el país también se ve beneficiado en ese aspecto, ya que como se comenta anteriormente, es más independiente, lo que le da cierta flexibilidad a la hora de negociar por los combustibles con los países importadores.

5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

A partir de la revolución industrial, siglo XVIII, España opta por la generación de energía mediante procesos de combustión. Este hecho, dejó de lado las energías renovables, a excepción de la energía hidráulica que compensaba la baja calidad del carbón existente en el país.

Más adelante, debido al gran crecimiento en la demanda de energía en España, se opta por instalar centrales térmicas, ya que en ese momento eran económicas y rápidas de instalar.

En 1969, se apuesta por la energía nuclear, siendo uno de los países pioneros en este ámbito.

Es en 1974 cuando en España se empieza a investigar de manera seria en la energía solar fotovoltaica, siendo uno de los primeros países en emprender esta aventura. Estas primeras investigaciones datan sobre instalaciones “off-grid”, es decir, instalaciones que aún no se conectaban a la red eléctrica, sino que servían para generar una pequeña cantidad de energía para autoconsumo.

Es por fin a finales del siglo XX cuando España es consciente de su alta dependencia energética, y es por ello por lo que decide apostar fuertemente por las energías renovables.

En 2005, bajo la legislatura del PSOE, el gobierno quiere impulsar la energía solar fotovoltaica en España, es por ello por lo que anima a los inversores a invertir en esta forma de energía prometiendo unas primas a todo aquel que apostase por ellas. La idea parecía ser el comienzo de una nueva era energética en el país. España daría un paso enorme no sólo en la independencia energética sino también en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a estas medidas, España instala 3400 MW de potencia solar fotovoltaica desde el año 2007 al 2009, llegando a instalar en un año (2008) el 40% del total de la potencia mundial instalada en el mundo.



Ilustración 4 - Evolución potencia fotovoltaica instalada en España

Tal y como se muestra en el anterior gráfico, España sufre una detención súbita en la instalación de este tipo de energía. ¿Qué pasó? Las primas prometidas por el gobierno no estuvieron bien controladas, ya que no existía límite alguno para la concesión de estas. Este hecho atrajo a inversores extranjeros que generaban su energía pagada por el estado español, lo que supuso una burbuja fotovoltaica. Fue entonces cuando el gobierno español decidió cambiar la ley en cuanto a la concesión de primas se refiere, dejando por un lado a los inversores sin ayudas económicas, y por otro lado al país sin el crecimiento de esta forma de energía.

Unido a esto, en 2015, en España se proclama una nueva ley conocida como “el impuesto al sol”. Esta ley, frena por completo el autoconsumo por medio de paneles fotovoltaicos, ya que a no ser que seas 100% independiente energéticamente, el gobierno te cobra un impuesto por kW instalado en tu vivienda, además de no permitirte la venta de la energía sobrante generada, a diferencia de lo que se hace en otros países. Este hecho, hace que no sea rentable apostar por el autoconsumo, y por tanto es una nueva medida política que frena a la energía solar fotovoltaica.

A pesar de ello, España parece un país hecho para entenderse con la energía solar fotovoltaica. En el siguiente gráfico se puede observar como dispone de unas condiciones óptimas en cuanto a irradiación solar se refiere:

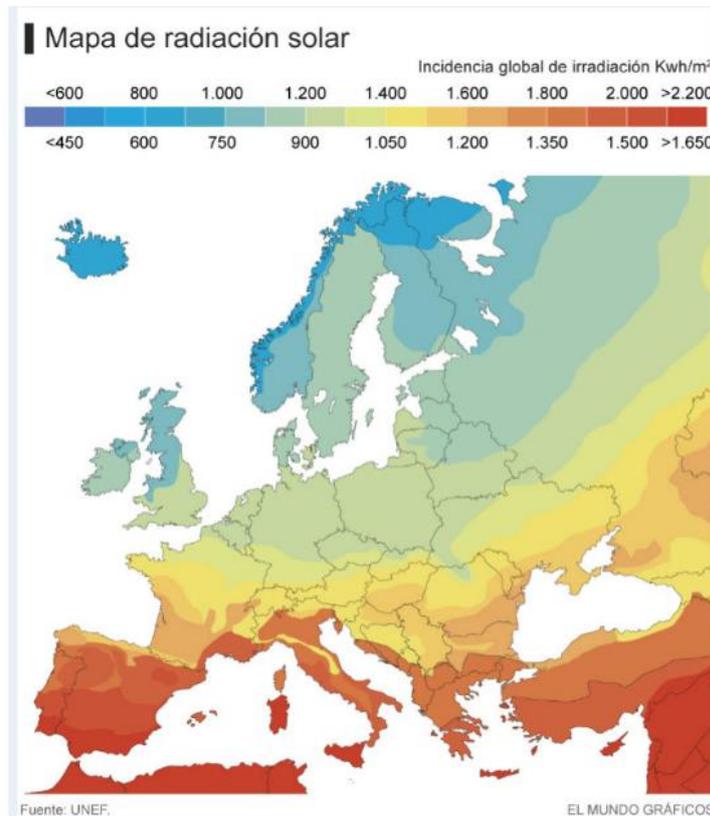


Ilustración 5 - Mapa de radiación solar

Además de ello cuenta con el conocimiento necesario para desarrollar la tecnología necesaria, y tal y como se ha comentado anteriormente sería un gran paso para la independencia y sostenibilidad energética.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se estima que la energía solar fotovoltaica va a jugar un papel muy importante en el mapa eléctrico español.

6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El primer paso para poder definir el huerto solar es la elección de un terreno que permita albergar este tipo de instalación. Como se vio en la introducción, el terreno está localizado en la provincia de Badajoz, y cuenta con las siguientes características:

- Dimensiones → el terreno seleccionado cuenta con una expansión de 446.309,76 m².
- Subestación eléctrica → próximo al terreno existen otros dos huertos fotovoltaicos, lo que indica la proximidad de una subestación eléctrica. Este punto es decisivo, ya que, al tratarse de una instalación de potencia grande, se debe facilitar la evacuación de energía de esta. Con este hecho se garantiza el tener un punto de conexión a la red eléctrica.
- Accesos → como se ya ha comentado anteriormente, el terreno se encuentra ubicado cerca de viales por los cuales pueden circular vehículos industriales tanto para la construcción de la instalación como para el mantenimiento de esta.

- Pendiente → la pendiente del terreno no supera el 4%, lo que indica que se trata de un terreno con un alto grado de planitud. El hecho de que el terreno de un huerto solar sea llano es una condición deseada, ya que facilitará el diseño del parque a la hora de analizar el riesgo de sombras.

El estudio de las sombras en los parques solares fotovoltaicos es un requisito indispensable para el correcto funcionamiento de la planta, así como para obtener una buena eficiencia en esta. Las sombras pueden crear principalmente dos tipos de problemas en la instalación:

- Hot spots → en la siguiente ilustración se puede apreciar la generación de puntos calientes en el panel, lo que puede llevar a la destrucción de este:

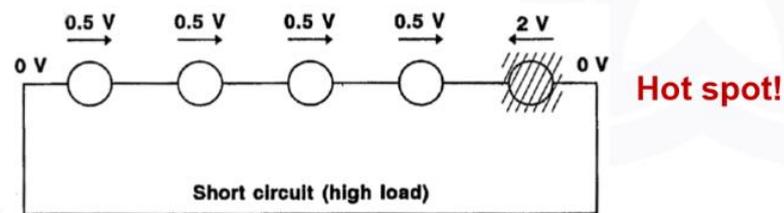


Ilustración 6 - Hot spot

En ausencia de diodos bypass, cuando una de las células de un panel es sombreada, esta se ve sometida a un potencial igual a la suma del resto de células que formen su hilera. Este efecto es conocido como hot spot, ya que la célula que ha sido sombreada se quema, quedando fuera de servicio para el resto de la vida útil del panel. La forma de evitar este fenómeno es con la utilización de diodos bypass que permitan la circulación de la corriente por los mismos, de tal forma que la célula sombreada no se vea sometida a un potencial que no es capaz de soportar:

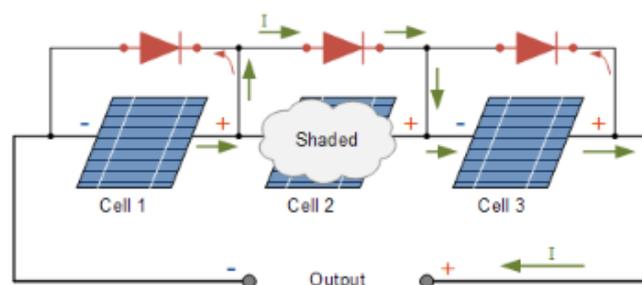


Ilustración 7 - Función de los diodos bypass

- Pérdida de potencia de salida en el panel → visto el uso de los diodos bypass, lo ideal sería la utilización de uno de ellos en cada célula del panel, de tal manera que cuando una célula este sombreada, tan solo se pierda en potencial aportado por ella (0,5V). Pero esta medida no es realista, ya que

el cableado de dicho panel sería muy costoso tanto técnica como económicamente, por lo que se hace en realidad es agrupar una cantidad de células y conectarla con un solo diodo bypass, de tal manera que evitamos la posibilidad de aparición de hot-spots, pero por el contrario perdemos la totalidad de las células conectada entre si cada vez que una de estas es sombreada. Para entender esta conexión lo mejor es observar una ilustración como la siguiente:

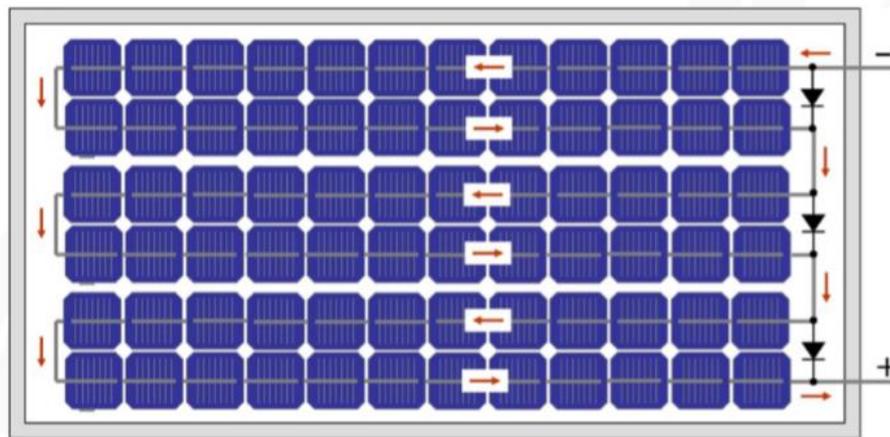


Ilustración 8 - Esquema panel 72 células

En la ilustración se puede apreciar la configuración típica de un panel de 72 células (36V). Como se puede observar, el panel se divide en 3 hileras de 24 células cada una. Por tanto, en el caso de verse una célula sombreada, se pierde un tercio de la potencia de salida del panel. Visto este funcionamiento, se puede intuir que, en el caso de verse tres células concretas sombreadas, el panel quedaría fuera de servicio mientras estas se mantengan. Para solventar esta situación problemática, existen dos tipos de soluciones, siendo cada una de ellas más sofisticada que la anterior:

a) Elegir una correcta orientación del panel:

- *Effects of portrait and landscape mounting on Si PV-modules*

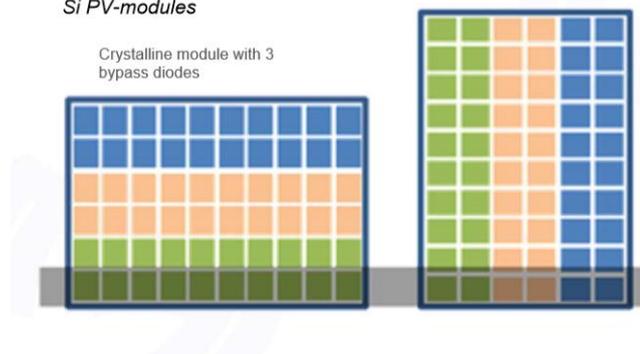
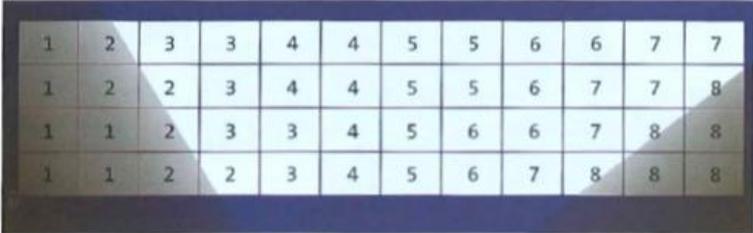


Ilustración 9 - Orientación óptima para evitar sombras

En la ilustración anterior se puede observar como con el mismo panel y la misma situación de sombras, se puede perder un tercio del panel o el panel concreto. Es por ello por lo que un correcto estudio de las sombras permite diseñar la planta de manera que se obtenga la mayor producción de energía posible.

b) Elegir una correcta conexión de las diferentes células:



1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
1	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8
1	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	8
1	1	2	2	3	4	5	6	7	8	8	8

Ilustración 10 - Conexiones

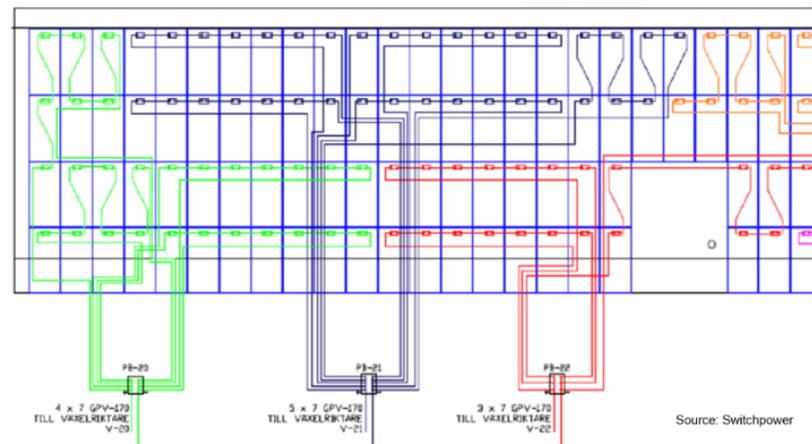


Ilustración 11 - Conexiones

Tras un exhaustivo estudio de las sombras en la instalación, es posible realizar un cableado concreto de tal forma que se busque la pérdida de las menores hileras posibles en cada momento que se tienen sombras, consiguiendo de esta manera una mayor producción de energía.

- Horizonte → los alrededores del terreno son en su mayoría terrenos baldíos que dan como resultado un horizonte muy despejado. Este hecho permite obtener un estudio de sombras sencillo además de una mayor producción de energía debido a la poca probabilidad de verse la plata sombreada. A continuación, se muestra tanto el horizonte real como el horizonte empleado para el cálculo de sombras en el software PVsyst:



Ilustración 12 - Horizonte Google Earth

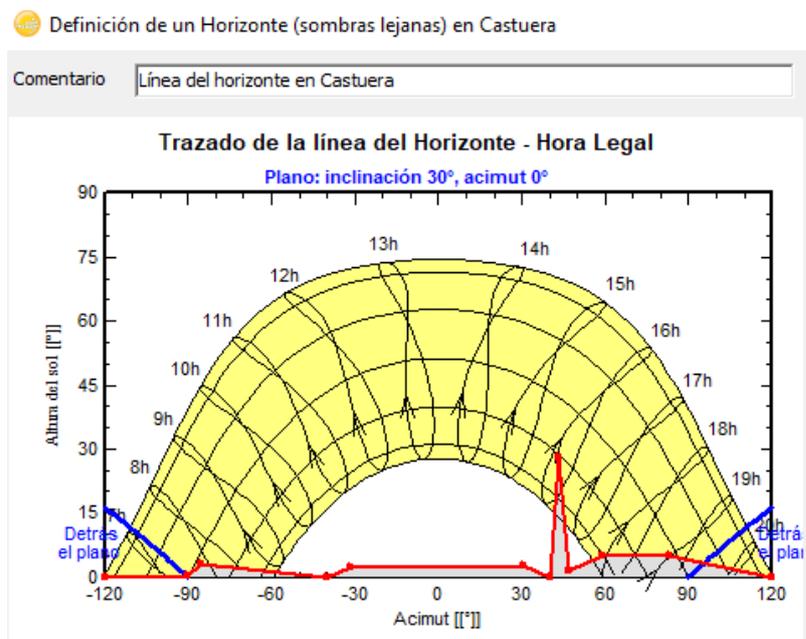


Ilustración 13 - Horizonte PVsyst

El siguiente paso para el correcto diseño de la instalación es la elección de los paneles que se van a emplear en el huerto solar. Antes de realizar cualquier tipo de elección, es necesario explicar el funcionamiento y las características principales de los paneles solares fotovoltaicos:

- a. Funcionamiento: para el óptimo diseño de una instalación solar fotovoltaica es necesario conocer el funcionamiento de todos y cada uno de sus elementos para así poder obtener el mayor rendimiento de cada uno de ellos. Todo panel solar fotovoltaico viene definido por las siguientes características eléctricas:
 - Potencia nominal → potencia que aporta el panel cuando estando en condiciones estándar, trabaja en el punto de máxima potencia.
 - Tensión en circuito abierto (V_{oc}) → mayor tensión que puede polarizar al panel cuando este trabaja en circuito abierto.

- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}) → corriente que circula por el panel cuando su tensión es nula.
- Tensión en el punto de máxima potencia (V_{PM}).
- Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{PM}).
- Coeficientes de temperatura (α_{VOC} , α_{ISC} , α_{PM}).

Con estas características, queda definida la curva IV del panel:

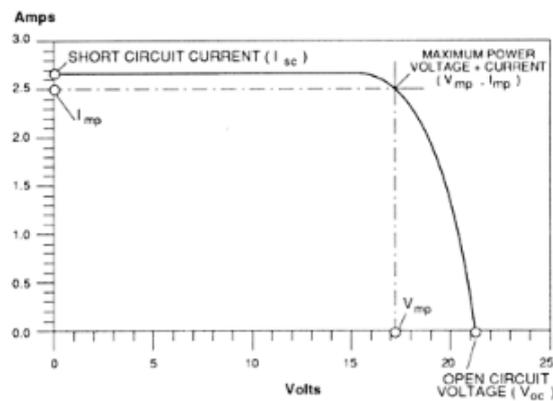


Ilustración 14 - Curva IV

La curva característica IV está definida para las condiciones estándar, es decir, para una temperatura de 25°C y una irradiación de 1000W/m². Es por ello, que cuando uno de estos valores varía, la curva lo hace con ellos:

- Variación de temperatura:

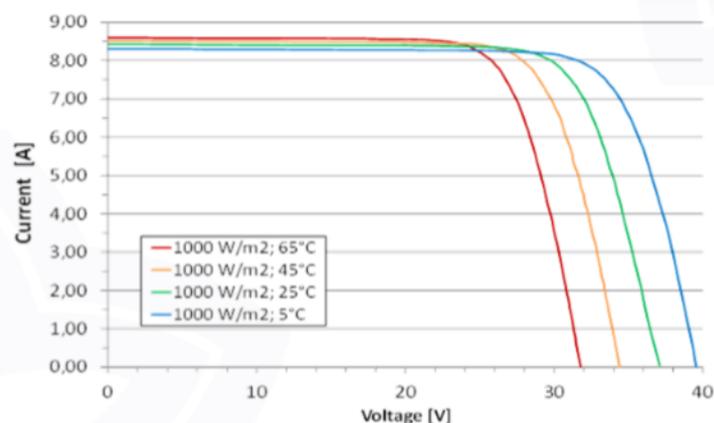


Ilustración 15 - Efecto de la temperatura

Como se puede observar en la ilustración anterior, un aumento de temperatura apenas varía la intensidad, sin embargo, la tensión se ve reducida drásticamente, por lo que la potencia de salida también lo hace. Es por ello por lo que una correcta ventilación de estos es importante para el correcto funcionamiento del sistema, ya que un aumento excesivo de la temperatura del panel hace que la eficiencia de este baje, haciendo al sistema ineficiente.

- Variación de la irradiación:

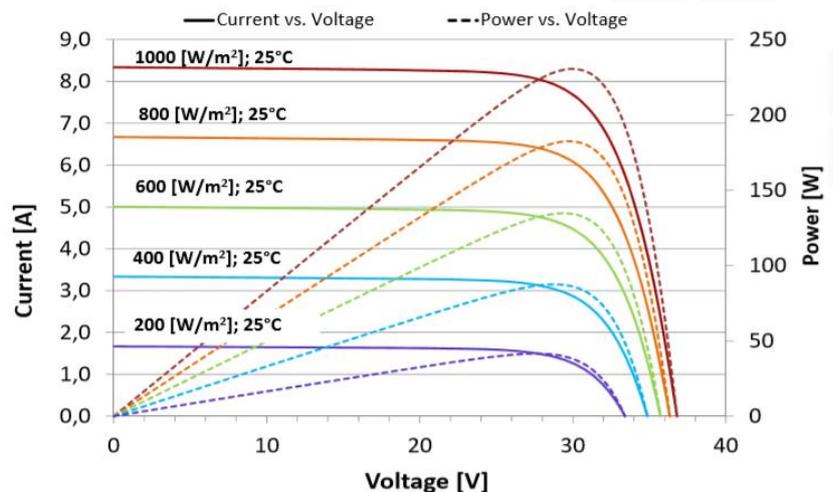


Ilustración 16 - Efecto de la irradiación

Como se puede apreciar en la ilustración, la salida del panel es casi proporcional a la irradiación incidente en el mismo. Es un funcionamiento bastante lógico, ya que cuanto más energía incide en el mismo, más energía es capaz de dar. A pesar de ello, una correcta y óptima instalación fotovoltaica es capaz de proporcionar energía de forma eficiente en casi cualquier lugar del mundo.

- b. Tipos:

- Cristalinos (de Silicio):

Ventajas → son más eficientes
 son módulos más grandes
 es una tecnología más madura

Desventajas → voltajes más bajos que los de capa fina
 no tienen un color uniforme
 necesitan más pasos durante su producción

*Dentro de los cristalinos, los monocristalinos son más eficientes, mientras que los policristalinos son más baratos y tienen un mejor comportamiento cuando trabajan a altas temperaturas.

- De capa fina (CIGS):

Ventajas → pueden aportar voltajes más altos
color uniforme
precio más bajo por Wp

Desventajas → eficiencia más baja
a pesar de ser más pequeños, pesan más
se degradan más fácilmente durante su ciclo de vida

Una vez conocidos estos conceptos, se procede a realizar una simulación en la ubicación del terreno para poder tener una estimación de lo que ocurriría con cada tipo de panel. Tras varias simulaciones, se obtienen los siguientes resultados:

	MONOCRISTALINO	POLICRISTALINO	CIGS
PRODUCCIÓN (MWh/año)	33.323	33.642	35.453
ÁREA (m ²)	126.156	128.374	144.479
PR (%)	79,72	80,48	87,8
N.º MÓDULOS	78.430	78.430	117.647

Tabla 1 - Comparación entre tipos de panel

Tras un primer vistazo a los resultados, se decide descartar el uso de paneles CIGS, ya que, a pesar de tener una producción estimada mayor, el área necesaria es mayor, lo que encarece el proyecto. Además, la cantidad de paneles necesaria en comparación con los otros tipos es muy superior, suponiendo una gran complicación extra a la hora de realizar las conexiones entre paneles. Esto supondría una labor ingenieril más compleja, además que requeriría de una mayor inversión económica en cuanto a material eléctrico y electrónico se refiere.

Como se puede observar, no hay grandes diferencias entre la elección de paneles monocristalinos o policristalinos. Sin embargo, parece más acertado elegir los policristalinos, ya que no solo son más baratos, sino que además se estima una producción de energía eléctrica ligeramente superior que en el caso de paneles monocristalinos. Esto es posiblemente debido a que nos encontramos en una zona que alcanza durante gran parte del año temperaturas elevadas, y por tanto los paneles policristalinos se comportan de una manera más eficiente antes este tipo de situación.

Antes de empezar a simular para poder obtener la disposición de la planta que mayor producción asegure, se va a seleccionar el tipo de panel concreto que se va a instalar en el huerto solar. Dicho panel será proporcionado por el fabricante Canadian Solar, tercer fabricante a nivel mundial en el año 2017 y que por tanto cuenta con una amplia experiencia en el sector. Las características principales del mismo se detallan a continuación, obteniendo información más exhaustiva en el apartado "Anexos I":

Potencia nominal	255 W
Intensidad de cortocircuito	9 A
Tensión en circuito abierto	37,40 V
Intensidad en el punto de máxima potencia	8,43 A
Tensión en el punto de máxima potencia	30,20 V
Coefficiente de temperatura (intensidad)	5,9 mA/°C
Coefficiente de temperatura (tensión)	-135 mV/°C

Tabla 2 - Características principales del panel

Una vez conocido el tipo de panel que se va a emplear en la instalación es el momento de realizar diferentes simulaciones para poder obtener una disposición de la planta que maximice la eficiencia de esta y por tanto la obtención de energía eléctrica. Para ello se va a hacer uso del programa PVSyst y de sus diferentes funcionalidades.

El primer paso es elegir la orientación del panel. La teoría dice, que un panel orientado hacia el sur recibirá más horas de irradiación anuales, lo que se traduce en una mayor producción energética. Al tratarse de una instalación conectada a la red en la que no existe ningún dispositivo de almacenamiento y en la que todo lo generado va a ir a la red directamente, el objetivo es generar la mayor cantidad de energía posible, por lo que parece lógico orientarlo de dicha manera. Sin embargo, hay que tener en cuenta que según la latitud a la que se encuentre la instalación o la cantidad de obstáculos que se tienen alrededor, a veces es más eficiente orientarlos ligeramente desviados hacia el este o el oeste. Tras analizar la intervención de los diferentes obstáculos (ver ilustraciones 12 y 13) y ver que no existe problema en orientar los paneles hacia el sur, solo queda ver la sugerencia del programa para la latitud en la que se encuentra el huerto solar. Como se puede observar en la siguiente ilustración, la curva obtiene un máximo cuando el panel está orientado hacia el sur, por lo que se decide proseguir con dicha orientación:

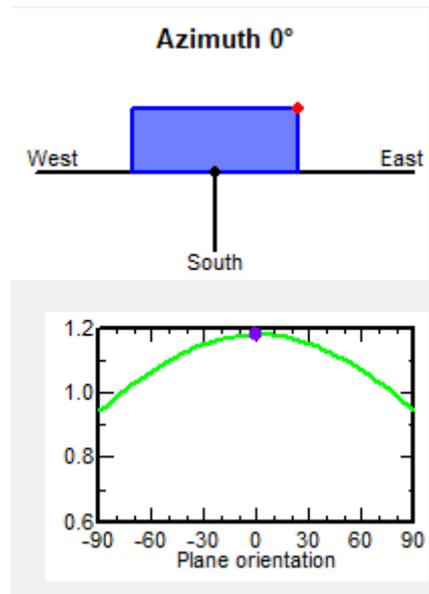


Ilustración 17 - Azimut 0°. Orientación sur.

A continuación, se va a proseguir con el ángulo óptimo de pendiente que maximice la producción anual. Este es un ángulo que depende de la latitud en la que se encuentre la instalación, pero existen tres tipos de optimizaciones:

- Optimización en los meses de verano: las horas de sol durante los meses de verano son mayores en comparación con los meses de invierno. Esto es debido a que el sol sigue una trayectoria más larga, ya que alcanza mayor altura. Es por ello, que en los meses de verano interesa una inclinación menor de los paneles, para aprovechar esa altura del sol y ser capaces de absorber mayor irradiación solar.
- Optimización en los meses de invierno: al contrario que en el caso anterior, el sol durante los meses de invierno sigue una trayectoria más baja y corta. Debido a esto, la colocación óptima de los paneles es con una inclinación más elevada con respecto a la de los meses de verano, ya que de esta manera se puede absorber mayor cantidad de energía.
- Optimización anual: cuando se trata de una instalación grande, cuya función es dar servicio durante la totalidad de los meses del año, se opta por una inclinación intermedia entre los dos casos anteriores, ya que es la manera en la que se obtiene a final de año una producción mayor.

A continuación, se muestra una ilustración para entender mejor el concepto explicado anteriormente:

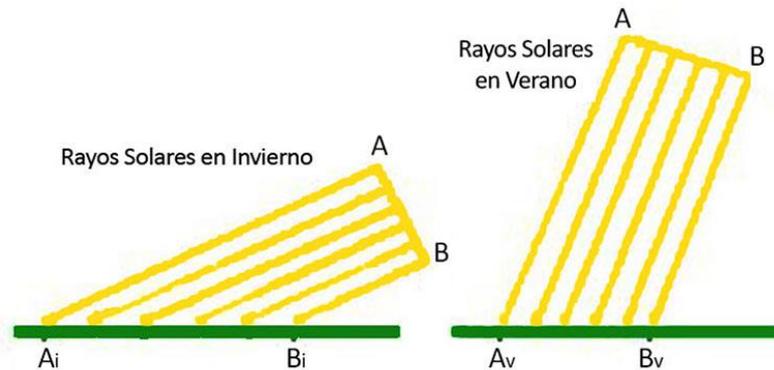


Ilustración 18 - Rayos solares en distintas épocas del año

Como se puede observar, la diferente incidencia de los rayos solares hace más eficiente la colocación de los paneles con una inclinación o con otra.

Tras simular con distintas inclinaciones se obtienen los siguientes resultados:

Inclinación (º)	Producción anual (MWh/año)
25	33.767
30	33.642
35	33.258
40	32.655

Tabla 3 - Producción anual a diferentes inclinaciones

Vistos los resultados, se procederá a seguir la modelación de la planta empleando una inclinación de 25º, ya que es la inclinación óptima para producir más cantidad de energía.

Una vez conocida la inclinación de los paneles, el siguiente paso es la elección de un “pitch” óptimo. El pitch, es la distancia existente entre una hilera y la siguiente de paneles fotovoltaicos. Lo ideal en cuanto a eficiencia se refiere, sería alejar lo máximo posible las hileras de tal forma que las de delante no proyecten ningún tipo de sombra durante todo el año a las filas posteriores. Sin embargo, conseguir esto significaría hacer uso de un terreno en ocasiones extremadamente largo, lo que encarecería el precio del proyecto. Es por ello, que se busca un equilibrio entre producción energética y área requerida para buscar la mejor opción. Para ello, a continuación, se muestran los resultados obtenidas tras simular con distintos valores del pitch:

Inclinación (°)	Pitch (m)	Producción (MWh/año)
25	5	33.546
25	5,5	33.767
25	6	33.874
25	6.5	33.941
25	7	33.989

Tabla 4 – Producción anual variando el pitch

Tal y como se puede observar en la anterior tabla, cuando se aumenta el pitch de 5 metros a 5,5, la cantidad de energía producida aumenta considerablemente. Sin embargo, una vez superados los 6 metros, el aumento de energía es muy pequeño, lo que no compensa en absoluto el incremento de área que supondría aumentar el pitch. Por ello, los valores que más se adecuan para buscar un equilibrio entre producción y optimización del terreno empleado son los de 5,5 y 6 metros. Antes de elegir una de las dos opciones se va a definir el layout completo del parque, agrupando los paneles en serie o paralelo para poder comparar ambos escenarios y así poder elegir la mejor opción. Finalmente, tal y como se muestra en el apartado de cálculos, el pitch elegido es de 5,5 metros.

Una vez elegido el tipo de panel y la disposición de estos, el siguiente paso es la elección del tipo de inversor, así como sus características necesarias para el correcto funcionamiento del huerto solar.

Los inversores son una parte esencial de la instalación, ya que permiten convertir la energía eléctrica continua generada por los paneles solares fotovoltaicos en energía eléctrica alterna para poder suministrarla a la red y que esta sea finalmente consumida. Existen como se mostrará a continuación tres tipos de inversores y dos formas de controlar la anchura de los pulsos.

- Cómo controlar la anchura de los pulsos:
 - Control por onda cuadrada (OC): En OC, el control únicamente genera un pulso por ciclo y la salida es una réplica temporal cuadrada de la senoidal que se tenga por referencia.

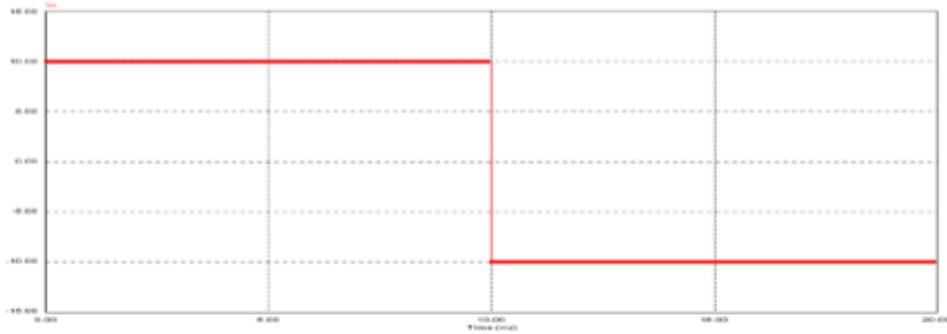


Figura 4.5a. Control por Onda Cuadrada. Frecuencia de referencia 50Hz. Periodo de referencia 20 ms.

Ilustración 19 - Control por onda cuadrada.

- Modulación por anchura de pulso (PWM): En PWM se controlará el ciclo de trabajo (D, duty cycle) de un control que genera pulsos muy rápidamente. El objetivo es modular D para que la media de la señal a la salida sea la senoidal que se quiere generar.

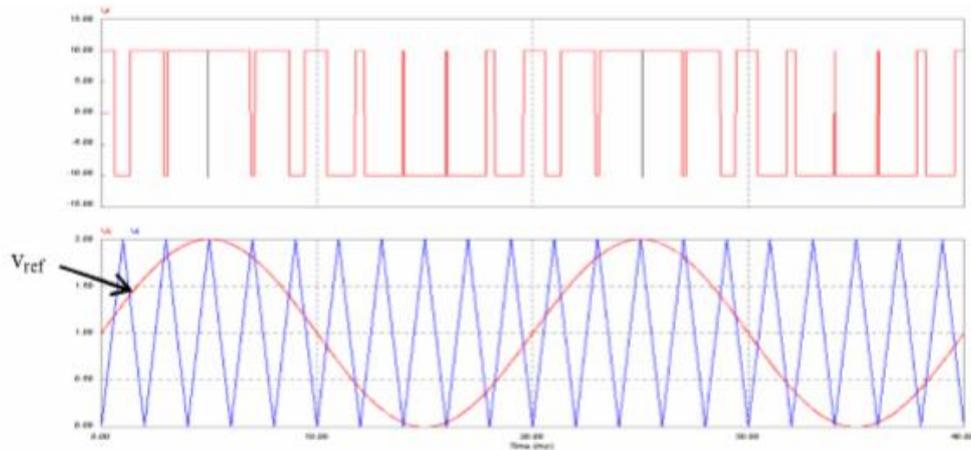


Figura 4.6. Arriba tensión a la salida del inversor por modulación PWM. Abajo señales de control. Vref tensión senoidal de referencia. Vt tensión de la onda triangular de modulación. $f_c = 500\text{Hz}$. $f_{ref} = f_c = 50\text{Hz}$

Ilustración 20 - Modulación por anchura de pulso.

- Tipos de inversores:

- De medio puente sin punto neutro: Observando la ilustración mostrada a continuación y olvidándose de los diodos. Si se conecta S1, el punto A queda unido al polo positivo de la batería y por tanto la tensión de salida v AO será de + Vd voltios, por supuesto con S2

en abierto. Si ahora se conecta S2 y se abre S1, la tensión en A será de 0 voltios. También se pueden mantener ambos conmutadores abiertos, el punto A permanecerá flotante, es decir, aislado. Nunca se conectarán a la vez S1 y S2 pues se produciría un cortocircuito. Así pues, el medio puente crea pulsos de 0 y + V_d voltios cuya anchura se define por el tiempo de encendido de S1 o de S2

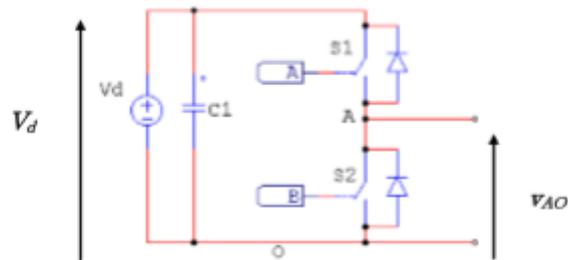


Figura 4.2. Circuito ideal de un half bridge o medio puente sin punto intermedio.

Ilustración 21 - Inversor de medio puente sin punto neutro.

- Inversor de medio puente con punto neutro: Es una variante del inversor anterior, y se forma cuando el condensador de la fuente de continua se divide en dos condensadores dispuestos en serie. Ahora el punto medio O será la referencia de las tensiones de salida. Se aprecia fácilmente que cuando S1 está cerrado la tensión a la salida es + $V_d / 2$. Cuando S1 se abre y S2 se cierra la tensión a la salida será de - $V_d / 2$ voltios.

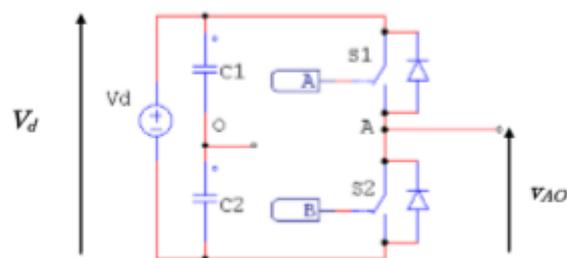


Figura 4.3. Circuito ideal de un half bridge o medio puente con punto neutro.

Ilustración 22 - Inversor de medio puente con punto neutro.

- Inversor de puente completo: el funcionamiento es similar al del medio puente, lo que ocurre es que se añade una rama más al medio puente para poder obtener una salida $+V_d -V_d$.

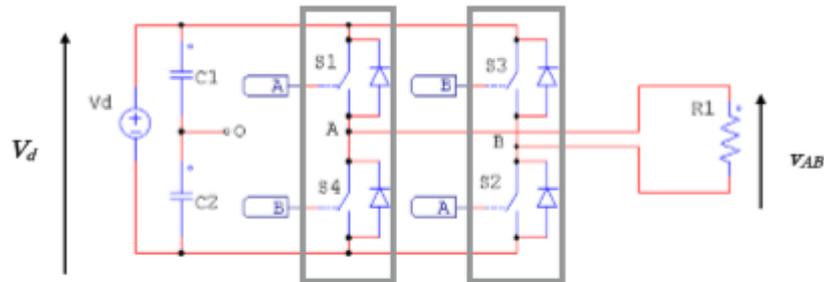


Figura 4.4. Circuito ideal de un full bridge o puente completo.

Ilustración 23 - Inversor de puente completo.

Tal y como se puede deducir del circuito mostrado, el juego de interruptores es distinto al del medio puente para poder obtener una señal alterna a la salida. Para ello, se alternarán alternativamente los interruptores S1 y S2 con el S3 y S4. Es decir, cuando S1 y S $''$ se abren, S3 y S4 se cierran y viceversa, de tal manera que se obtiene una salida $+V_d -V_d$.

Una vez conocida la teoría de los inversores, necesaria para el correcto entendimiento de la instalación, se van a mostrar los tipos de inversores empleados en instalaciones fotovoltaicas:

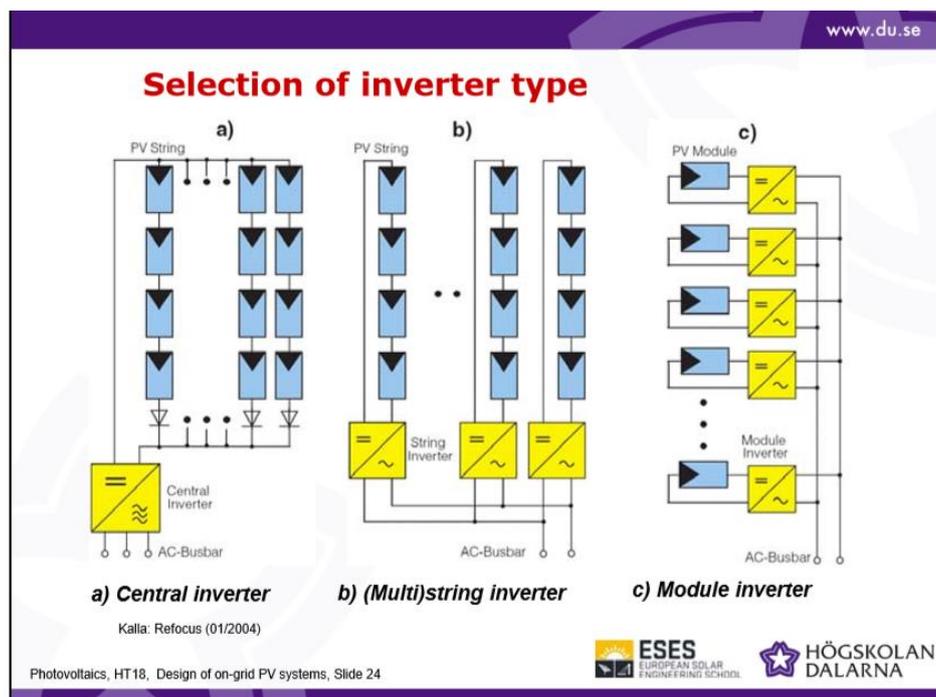


Ilustración 24 - Tipos de inversores.

Como se puede apreciar, existen tres maneras de colocar los inversores:

- Inversor central: a pesar de que al solo necesitar un solo inversor su precio es más bajo, el capital necesario para abordar las conexiones es mayor, ya que se requieren cables más caros. Además, en caso de fallo del inversor, la instalación completa quedaría fuera de servicio, ya que no habría dispositivo electrónico que transformase la energía continua generada por los paneles.
- Un inversor por cada hilera de paneles: a pesar de ser más caro que el caso anterior, es la forma de conexión más empleada a la industria debido a sus múltiples ventajas. Es una forma simple y flexible de conexión, ya que permite colocar los inversores en la zona que más convenga dentro de la instalación.
- Un inversor por cada panel: es una forma de conexión muy poco adoptada por la industria ya que es un método caro, con bajo rendimiento y que requiere de un gran espacio para la ubicación y conexión de los distintos inversores.

Los inversores de la presente instalación serán de puente completo, controlados por PWM y se contará con un inversor por cada grupo de paneles que se detallará a continuación. El acoplamiento de los paneles solares con los inversores es un punto clave del diseño de una instalación solar ya que puede ser crítico por los motivos que se expondrán más adelante. De hecho, los inversores no siempre tienen la misma potencia que los paneles, sino que suelen oscilar entre un +10% -10%. Esto es debido a que la potencia de los paneles ha sido medida en condiciones estándar de funcionamiento (25°C y 1000W/m²), y tal y como se ha comentado anteriormente, la potencia de salida de los paneles varía cuando estas dos variables varían de valor. Además, también hay que tener en cuenta que la probabilidad de que las sombras en la instalación sean del 0% no son muy altas, por lo que la instalación no siempre estará funcionando a su máximo rendimiento para unas condiciones de temperatura e irradiación dadas. Es por todo ello, que en la mayoría de los países de Europa los inversores se suelen infra dimensionar salvo que la instalación se encuentre en lugares con alta irradiación solar, sin muchos obstáculos y con temperaturas moderadamente bajas, como puede ser a lo alto de una montaña.

Los inversores empleados en la instalación serán del fabricante Siemens, cuyas características se muestran con exhaustividad en el Anexo I del presente proyecto. Finalmente, se deciden usar 13 inversores de 1500 kW de potencia cada uno, de tal forma que en total se tiene 19.500 W de potencia, que son suficiente para la presente instalación de 20.000 W.

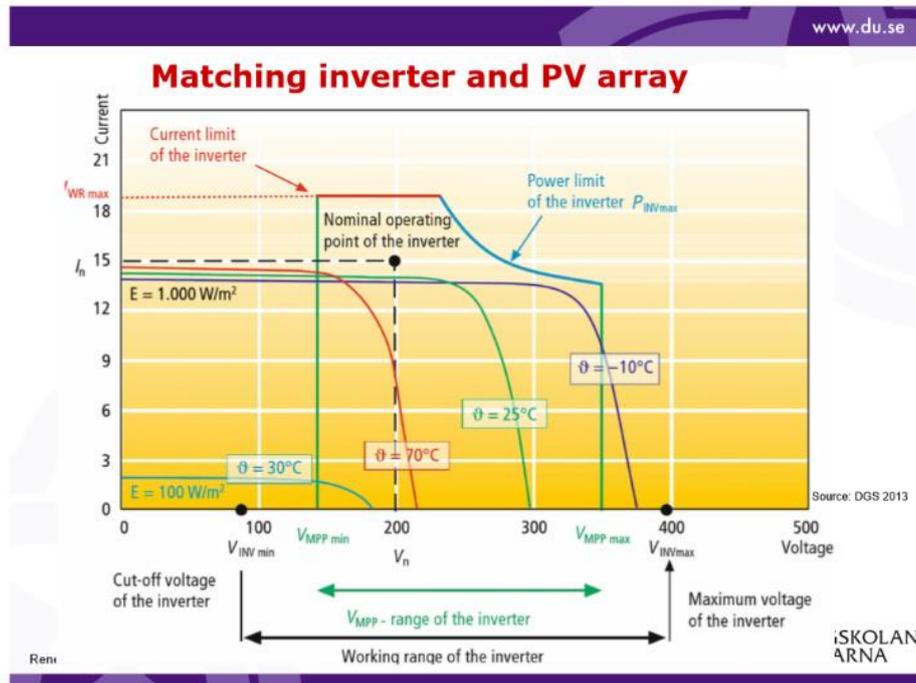


Ilustración 25 - Uniendo los paneles con los inversores.

Tal y como se puede apreciar en la anterior ilustración, existen 6 parámetros que definen el funcionamiento de un inversor:

- Intensidad máxima del inversor ($I_{WR \max}$) \rightarrow si el conjunto de paneles proporciona una corriente superior a este valor existe riesgo de que el inversor falle.
- Potencia máxima del inversor ($P_{INV \max}$) \rightarrow si el conjunto de paneles proporciona una potencia superior a este valor existe riesgo de que el inversor falle.
- Tensión mínima del inversor ($V_{INV \min}$) \rightarrow si el conjunto de paneles tiene una tensión de salida inferior a este valor, los inversores dejarán de cometer su función. En este caso el inversor no sufrirá ningún tipo de daño-
- Tensión mínima de MPP ($V_{MPP \min}$) \rightarrow si el conjunto de paneles tiene una tensión de salida inferior a este valor, estos no serán capaces de trabajar en un punto de trabajo cercano al de MPP, por lo que la eficiencia de estos disminuirá, no siendo capaces de entregar la máxima potencia posible en ese momento.
- Tensión máxima de MPP ($V_{MPP \max}$) \rightarrow si el conjunto de paneles tiene una tensión de salida superior a este valor, estos no serán capaces de trabajar en un punto de trabajo cercano al de MPP, por lo que la eficiencia de estos disminuirá, no siendo capaces de entregar la máxima potencia posible en ese momento.
- Tensión máxima del inversor ($V_{INV \max}$) \rightarrow si el conjunto de paneles tiene un valor de tensión de salida superior a este valor existe riesgo de que el inversor falle.

Teniendo esto en cuenta, lo ideal al unir los paneles con los inversores es que estos sean capaces de trabajar la mayor parte del tiempo dentro de los límites establecidos por V_{MPPmin} y V_{MPPmax} , ya que de esta manera se logrará un óptimo funcionamiento de la instalación completa. Además de eso, es crítico analizar la posibilidad de que se supere la tensión V_{INVmax} cuando los paneles están a temperaturas muy bajas, ya que como se ha comentado anteriormente, un decremento de la temperatura de los paneles supone un desplazamiento hacia la derecha de la curva IV, por lo que existe riesgo de sobrepasar ese límite y por tanto de tener un fallo no deseado en el inversor. Es por ello por lo que aquí se muestran dichos valores de los inversores seleccionados, de tal forma que permitan hacer un diseño óptimo en cuanto a la unión de los paneles solares fotovoltaicos con los inversores:

- Intensidad máxima del inversor: 3309 A
- Potencia máxima del inversor: 1500 kW
- Tensión mínima del inversor: 450 V
- Tensión mínima de MPP: 470 V
- Tensión máxima de MPP: 900 V
- Tensión máxima del inversor: 1000 V

Tal y como se muestra detalladamente en el apartado de cálculos, se decide conectar los paneles de la siguiente manera:

- Se cuenta con un total de 78.430 paneles.
- Los paneles se conectarán en serie en grupos de 23 en 23.
- Se cuenta con un total de 13 inversores.
- En 12 de los 13 inversores los paneles estarán conectados en 262 hileras en paralelo con 23 paneles en serie cada una de ellas.
- El último inversor tendrá 266 hileras con 23 en serie cada una de ellas.

Una vez llegado a este punto, se ha conseguido generar energía eléctrica alterna a unos 690 V, pero el alcance del presente proyecto va desde la selección del terreno hasta el transporte de la energía generada a la subestación de media tensión. Es por ello, que, para transportarla, es necesario previamente elevar la tensión al nivel de la subestación, evitando así pérdidas innecesarias durante el transporte de la misma. Por tanto, junto a cada grupo de paneles conectados en serie se le asignará un transformador que eleve la tensión de salida del parque hasta la tensión de trabajo de la subestación, que en este caso es de 33 kV. Para garantizar el correcto funcionamiento de los transformadores, así como para poder realizar las correspondientes maniobras y operaciones de mantenimiento de la planta, es necesaria la instalación de un cuadro de protección por cada transformador instalado. Para esta misión, se decide contar con la colaboración de la empresa MESA, líder en este sector y con amplia experiencia en el mercado, ya que lleva más de 50 años proveyendo de este material a instalaciones tanto fotovoltaicas como eólicas alrededor de todo el mundo. Las celdas seleccionadas para el presente proyecto son las celdas DVCAS, consideradas parte de la distribución secundaria de la instalación. A continuación, se procede a presentar las características principales de las DVCAS justificando de esta manera su elección:

		DVCAS 36 kV
Tensión nominal	(kV)	36*
Frecuencia	(Hz)	50/60
Intensidad nominal	(A)	630
Intensidad de cortocircuito (valor eficaz)	(kA/s)	20/3
Intensidad de cortocircuito (valor cresta)	(kA)	50/52
Nivel de aislamiento		
A frecuencia industrial (50/60Hz-1 min)	(kV)	70
A onda de impulso tipo rayo	(kV)	170
Resistencia frente a arcos internos IAC AFL⁽¹⁾	(kA/1s)	20
Grado de protección		
Compartimento de MT	(IP)	67
Compartimentos BT y mandos**	(IP)	3X
Presión del gas de aislamiento SF6 a 20°C	(bar)	0.3
Temperatura de operación⁽²⁾	(°C)	-40 a +40
Temperatura de almacenamiento	(°C)	-40/+50
Altitud⁽³⁾	(m)	2000
Conectores		
Geometría		T
Apantallamiento (recomendado)		Puesto a tierra
Perfil interno		Tipo C
Conexión atornillada		M16x22mm

* Para tensiones de 36kV, consultar con MESA

** Excepto en la parte correspondiente a la zona de paso de cables.

(1) Para aplicaciones IAC AFLR, por favor consultar con MESA.

(2) Para aplicaciones con temperaturas a -40°C o superiores a +40°C, por favor consultar con MESA.

(3) Para altitudes mayores de 2000m, por favor consultar con MESA.

Ilustración 26 - Características principales de las celdas DVCAS seleccionadas.

Tal y como se puede apreciar, la tensión nominal es de 36 kV, ideal para trabajar en subestaciones de 33 kV como en este caso. Además, es capaz de trabajar a 50 Hz y cumple con los requisitos necesarios no solo para las características de la ubicación, sino también para cortar o aislar la parte del circuito protegida en caso de cortocircuito o de necesitar realizar alguna maniobra o simplemente operaciones de mantenimiento.

Gracias a los transformadores y las celdas mencionadas, es posible evacuar la energía generada a la subestación de media tensión, llevando por cada línea parte de la energía. Desde cada línea, llegará dicha energía a la barra de la subestación, cuya tensión de trabajo es de 33

kV y la intensidad nominal de 1250 A como se verá en el siguiente apartado. Tras esa barra se encuentra el transformador elevador previo al transporte a gran escala de la energía. Dicho transformador eleva la tensión de la subestación de 33 kV a 220 kV, nivel de tensión ideal para el transporte de la energía a los consumidores finales. Para que dicha instalación funcione de manera correcta, todas las líneas que llegan a barras deben estar protegidas con celdas de distribución primaria que les permitan maniobrar y cortar/aislar la línea en caso necesario. Para esta misión, también se va a contar con la empresa MESA, ya que también es líder en este sector, siendo las celdas de distribución primaria su producto más vendido por encima de las de secundaria. El nombre de las celdas es CBGS-0. Dichas celdas están blindadas y aisladas en SF₆. La empresa proveedora cuenta con celdas de distintas características eléctricas, es por ello, que a continuación se van a mostrar las características principales del modelo elegido, siendo en el apartado de anexos donde se da una información más detallada de estas.

Tensión nominal (kV)		24 ⁽⁴⁾	36 ⁽⁴⁾
Nivel de aislamiento (kV)	A frecuencia industrial, 50 Hz (KV eficaces)	50	70
	A onda de choque tipo rayo (kV cresta)	125	170
Intensidad nominal (A)	Embarrado	...2000	
	Derivaciones		630
			1250
			1600
		2000	
Intensidad nominal de corte (kA)		25/31,5	
Capacidad de cierre en cortocircuito (kA cresta)		63/80	
Intensidad nominal de corta duración (kA/s)		Max 25/3-31,5/3	
Resistencia frente a arcos internos IAC AFL-AFLR (kA/1s)		25/31,5	
Presión nominal relativa de gas SF₆ a 20°C (bar)		0,30	
Grado de protección	Compartimentos de AT	IP65	
	Compartimento de BT	IP3X-IP41	

Ilustración 27 - Características principales de las celdas CBGS-0.

Una vez instaladas todas las partes descritas hasta el momento, ya se está en disposición de evacuar la energía generada por el huerto solar a la red. Para tener una estimación de la cantidad de energía evacuada anualmente, se hará una última simulación en el programa PVSyst cuyos resultados se mostrarán en el apartado "descripción de los resultados".

METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

7. DIAGRAMA DE GANTT

A continuación, se muestra el diagrama Gantt del presente proyecto:

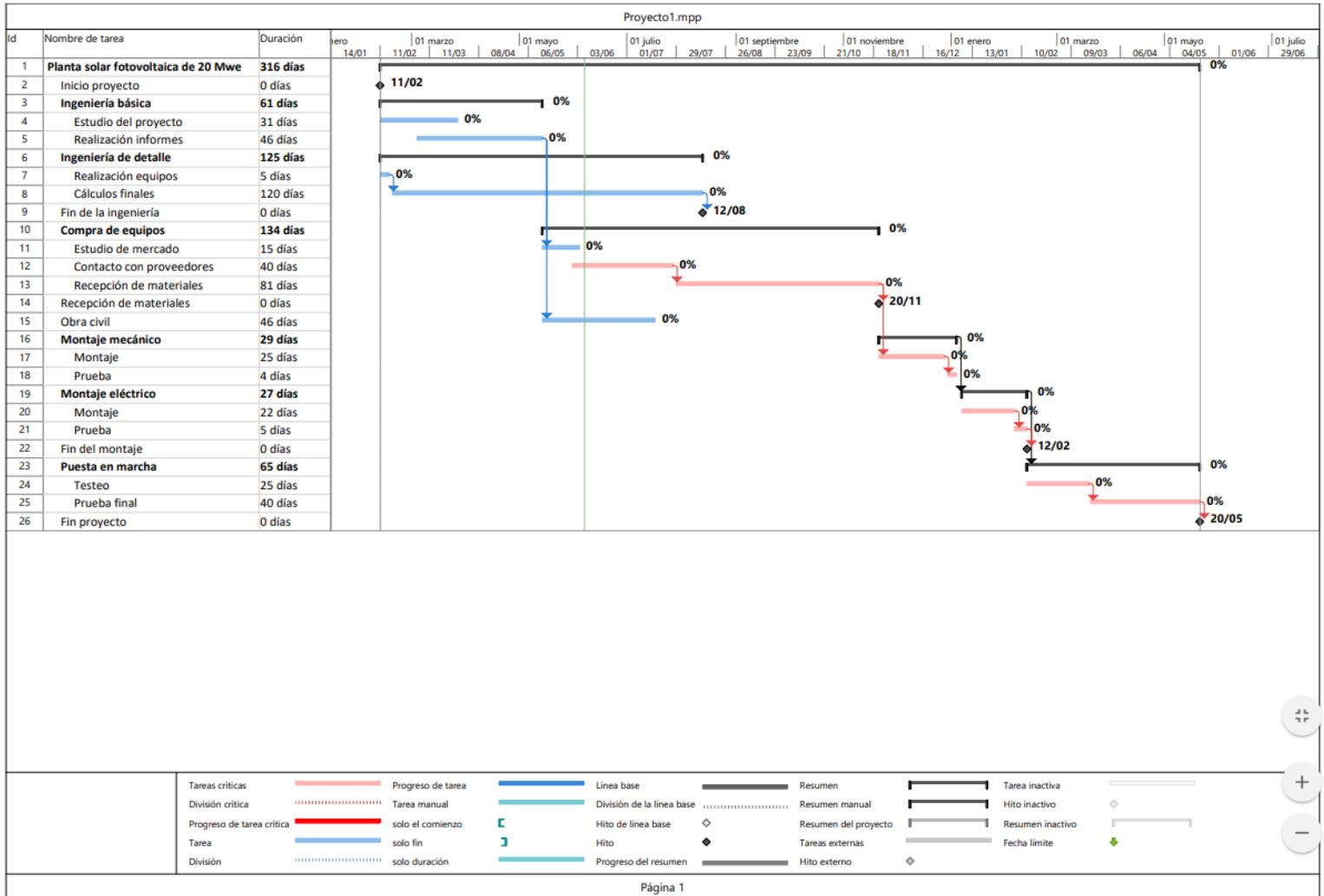


Ilustración 28 - Diagrama de Gantt.

8. MEDIOS Y TÉCNICAS BÁSICAS

A continuación, se enumeran los medio y técnicas básicas empleadas para la realización del presente proyecto:

- Ordenador portátil:



Ilustración 29 . Portátil

Ficha técnica:

- Procesador: Turbo Boost hasta 3,5 GHz Intel Core i7-7500U
 - Memoria: 12 GB
 - Disco duro: 1TB
 - Pantalla:15,6 "Resolución 1366x768 píxeles
 - Peso: 2,04 kg
 - Dimensiones: 38,43 x 2,43 x 25,46
-
- Microsoft Word:

Microsoft Word es un programa de procesamiento de texto que permite a los usuarios crear documentos profesionales como currículum, cartas, hojas de cubierta de fax, reportes, documentos legales, folletos, manuales y más. Es una herramienta eficiente para que los estudiantes, los propietarios de negocios e incluso las personas que trabajan lo tengan en sus computadoras.

Microsoft Word tiene herramientas para formatear las fuentes, añadir imágenes prediseñadas, números a las páginas y crear tablas y encabezados. Incluso tiene una caricatura

"asistente de oficina" que se puede colocar en el fondo para ayudarte a través de la creación de tu documento o responder cualquier pregunta que pudieras tener.



Ilustración 30 – Word

- Microsoft Excel:

Microsoft Excel es una aplicación distribuida por Microsoft Office para hojas de cálculo. Este programa es desarrollado y distribuido por Microsoft, y es utilizado normalmente en tareas financieras y contables.

Excel permite a los usuarios elaborar tablas y formatos que incluyan cálculos matemáticos mediante fórmulas; las cuales pueden usar “operadores matemáticos” como son: + (suma), - (resta), *(multiplicación), / (división) y ^ (exponenciación); además de poder utilizar elementos denominados “funciones” (especie de fórmulas, pre- configuradas).

Así mismo, Excel es útil para gestionar “Listas” o “Bases de Datos”; es decir agrupar, ordenar y filtrar la información.



Ilustración 31 – Excel

- Microsoft Project:

Microsoft Project es una herramienta de trabajo para administradores y jefes de proyectos, utilizada para organizar y seguir las tareas de forma eficaz, para evitar así los retrasos y no salirse del presupuesto previsto. Básicamente, crea programas y sigue su proceso, además de calcular costos. Se puede complementar con elementos de Microsoft Excel. Existen muchos tipos de

herramientas dentro de este software, de forma que el análisis de los datos es mucho más sencillo. Sin embargo, aquí nombraremos las principales:

Ruta crítica: Se realiza una vez que todos los datos están ingresados. De esta forma de obtienen datos relevantes como los tiempos de inicio y término más cercanos y más lejano de cada actividad, o las holguras.

Diagrama de Gantt: Se muestra por default. Esta gráfica ilustra la programación de actividades en forma de calendario, en el que el eje horizontal representa el tiempo, y el vertical las actividades. Se señalan con barras los tiempos de inicio y término de la actividad, su duración y su secuencia. Las actividades críticas se muestran en rojo, las otras en azul. Las actividades que tienen otras secundarias dentro se muestran en color negro.

Sobrecarga de recursos: Significa que le estamos asignando a un recurso humano más tareas de las que puede realizar. Esto lo podemos observar en la herramienta Gráfica de Recursos del menú Ver.

Resumen de Proyecto: Brinda diferentes tipos de información, como las fechas de inicio y término del proyecto en la parte superior, la duración, las horas totales de trabajo, los costos, el estado de las tareas y de los recursos.

Cálculo de costos: Calcula los costos de los recursos y la mano de obra, una vez que los recursos son asignados a cada tarea. Hay dos tipos de reportes: el flujo de efectivo -es un reporte del gasto semanal- y el requerimiento de materiales.

Control de proyecto: Cuando ya se han introducido todos los datos necesarios para realizar la ruta crítica, y se ha establecido el programa de proyecto como se desea, se puede salvar como línea base. Esto permitirá compararla con las modificaciones que se le vayan haciendo al proyecto.



Ilustración 32 – Project

- PVsys:

PVsys es una herramienta diseñada para ser usada por arquitectos, ingenieros e investigadores. También es un buen programa para uso educativo. Contiene un menú de ayuda donde se explican con detalle los procedimientos y modelos que se emplean. Además, tiene un manejo bastante intuitivo y guiado para el correcto desarrollo de los proyectos. En PVsys se pueden importar tanto datos meteorológicos como personales de diferentes fuentes.



Ilustración 33 – PVsys

- Apuntes de Dalarna University:

Durante la realización de este proyecto han sido de gran utilidad tanto los conceptos adquiridos en la universidad sueca “Dalarna University” como los apuntes de esta.



Ilustración 34 - Dalarna University

9. CÁLCULOS

- Área del terreno:

Cálculo exacto empleando Google Earth:

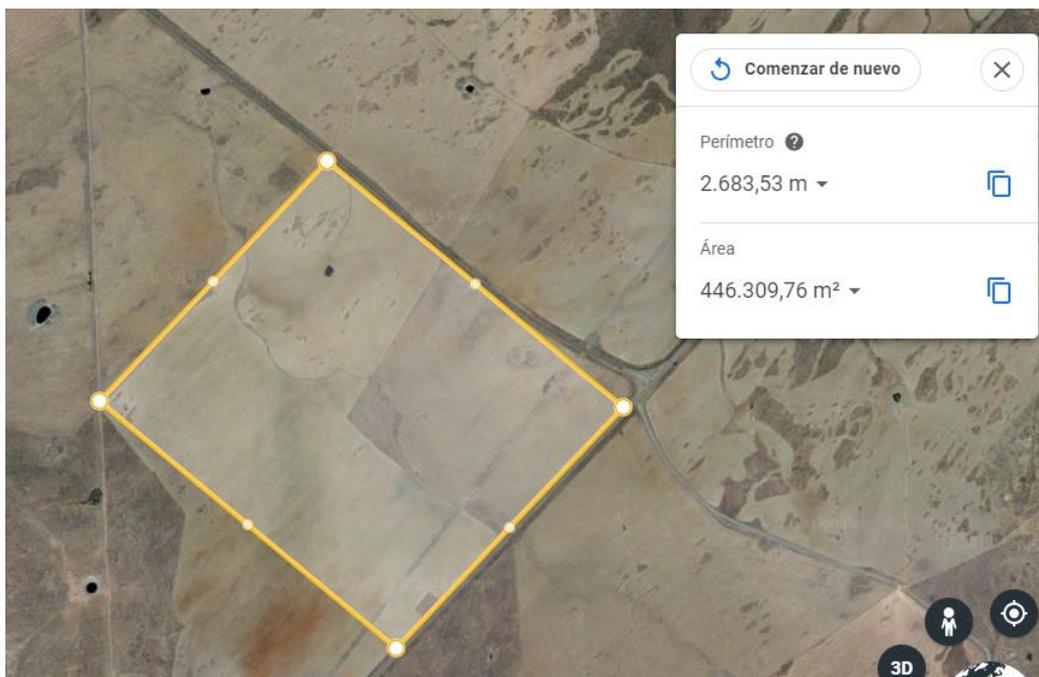


Ilustración 35 - Dimensiones del terreno

- Conexión paneles:

A continuación, se muestra una imagen que ilustra a la perfección lo que ocurre cuando se conectan los paneles en serie o en paralelo:

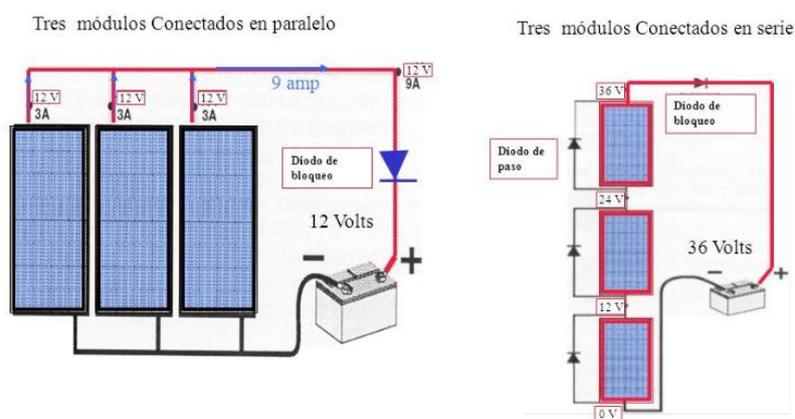


Ilustración 36 - Conexión paneles solares fotovoltaicos

Tal y como se puede apreciar, al conectarse paneles en paralelo, la intensidad que circula por cada uno de ellos se suma a la de los demás. Para que esta conexión sea efectiva, todos los paneles tienen que trabajar al mismo potencial. Por otro lado, al conectar los paneles en serie, los voltajes de estos se suman, siendo la intensidad que atraviesa cada uno de ellos la misma. En caso de conectarse en serie paneles con distinta potencia, cada uno aportará a la totalidad del circuito una cantidad de vatios igual a la del menor de ellos:

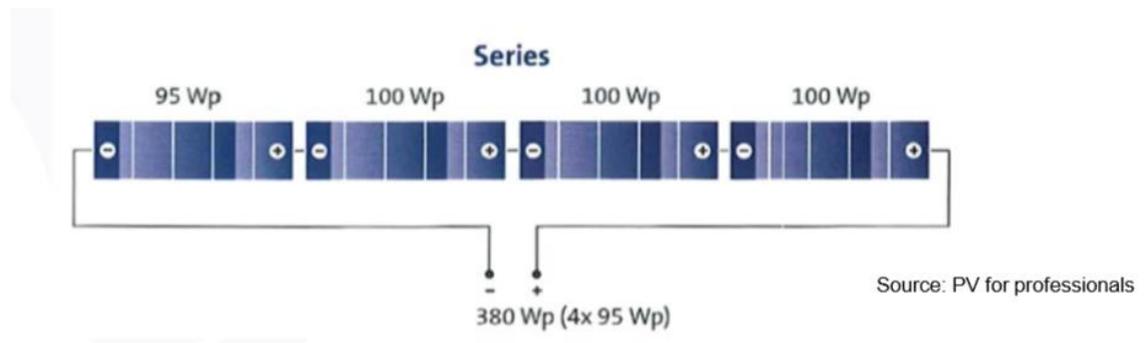


Ilustración 37 - Conexión en serie de paneles de distintas potencias

Para poder unir los paneles solares con los inversores, es importante dejar claro lo que ocurre cuando estos últimos se unen entre sí en serie o en paralelo. Cuando dos paneles se unen en serie, la intensidad de cortocircuito se mantiene, siendo su tensión de circuito abierto el doble que la de uno solo, es decir que la curva IV es el doble de ancha e igual de alta. Por otro lado, si se conectan en paralelo, la tensión de circuito abierto se mantiene, duplicándose en este caso la intensidad de cortocircuito. Por tanto, la curva IV se mantiene igual de ancha, pero sería el doble de alta.

Teniendo tanto esto como lo mencionado en el apartado 6 de diseño de la planta en mente, se va a proceder a unir los paneles fotovoltaicos con los inversores:

Datos:

Inversor →

- Intensidad máxima del inversor: 3309 A
- Potencia máxima del inversor: 1500 kW
- Tensión mínima del inversor: 450 V
- Tensión mínima de MPP: 470 V
- Tensión máxima de MPP: 900 V
- Tensión máxima del inversor: 1000 V

Panel →

- Intensidad de cortocircuito: 9 A
- Intensidad de MPP: 8,43 A
- Tensión en circuito abierto: 37,40 V
- Tensión de MPP: 30,20 V
- Potencia: 255 W
- Coeficiente de temperatura de intensidad: 5,9 mA/°C

- Coeficiente de temperatura de tensión: $-135\text{mV}/^\circ\text{C}$

Clima → Tras analizar los datos históricos de temperatura en la localidad donde está ubicado el terreno, se decide realizar estos cálculos para las temperaturas de paneles extremas de 0 y 60°C , de tal manera que se calcula:

$$V_{oc} (0^\circ\text{C}) = 37,4 + 0,135 * 25 = 40,78 \text{ V}$$

$$V_{oc} (60^\circ\text{C}) = 37,4 - 0,135 * 35 = 32,68 \text{ V}$$

$$V_{mpp} (0^\circ\text{C}) = 30,2 + 0,135 * 25 = 33,58 \text{ V}$$

$$V_{mpp} (60^\circ\text{C}) = 30,2 - 0,135 * 35 = 25,48 \text{ V}$$

Por tanto, para saber cuántos paneles se puede conectar en serie como máximo se debe tener en cuenta por un lado el o sobrepasar la tensión máxima para la cual está diseñado el inversor:

$$\frac{1000\text{V}}{40,78 \text{ V}} = 24 \text{ paneles}$$

Por otro lado, que la tensión de MPP no supere el valor máximo de la del inversor y así poder trabajar cerca del punto óptimo de los paneles:

$$\frac{900 \text{ V}}{33,58 \text{ V}} = 26 \text{ paneles}$$

Por tanto, como máximo se puede poner 24 paneles en serie para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación.

Para saber cuántos se deben conectar como mínimo y así garantizar que el inversor no deja de funcionar debido a no tener como entrada un valor de tensión lo suficientemente alto se calcula:

$$\frac{470 \text{ V}}{25,48 \text{ V}} = 19 \text{ paneles}$$

Por tanto, ya se sabe que se conectarán entre 19 y 24 paneles en serie. Ahora, para saber cuántos se pueden conectar como máximo en paralelo:

$$\frac{3309 \text{ A}}{9 \text{ A}} = 367 \text{ paneles}$$

Por último, para poder definir por completo la conexión de los 78.430 paneles de la instalación, se procede a calcular el número de paneles que se van a conectar a cada inversor:

$$\frac{78.430}{13} = 6033 \text{ paneles}$$

Con estos datos y con la ayuda del programa de simulación PVsyst, se deciden conectar los paneles en serie de 23 en 23 y con un máximo de 266 paneles en paralelo para cada inversor, de tal manera que se garantiza el correcto funcionamiento de los mismo tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

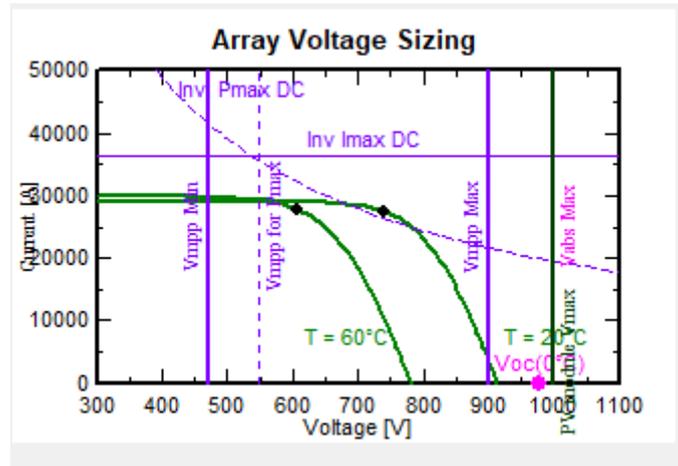


Ilustración 38 - Conexión paneles con inversores.

Como se puede apreciar, se garantiza por un lado el no superar ni la potencia ni la intensidad máxima de los inversores. Además, a lo largo de todo el rango de temperaturas, se garantiza el funcionamiento de los paneles alrededor del MPP, suponiendo una eficiencia elevada. Por último, se garantiza que incluso en las temperaturas más extremas, la tensión de cortocircuito de los paneles no sobrepasa la máxima permitida para los inversores, por lo que se puede concluir diciendo que la conexión paneles – inversores es correcta.

- **Layout:** Se cuenta con los siguientes datos:

1- Terreno:

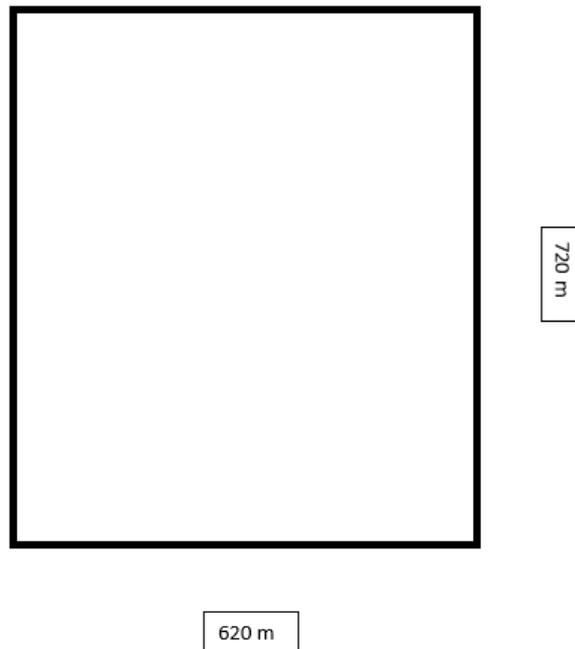


Ilustración 39 - Medidas del terreno

2- Paneles:

Module	
Length	1650 mm
Width	992 mm
Thickness	35.0 mm
Weight	18.50 kg
Module area	1.637 m ²

Ilustración 40 - Medidas de los paneles

- 3- Disposición: El huerto solar contará con **130 filas** separadas entre sí **5,5 metros** de distancia unas de otras (**pitch**). En cuanto a la disposición de las filas, se contarán con dos configuraciones distintas. Las primeras **41 filas** contarán con el siguiente esquema:

1,666 metros – 100 paneles - 3,5 metros – 100 paneles – 3,5 metros – 102 paneles – 3,5 metros - 102 paneles – 3,5 metros – 100 paneles – 3,5 metros – 100 paneles – 1,666 metros.

Mientras que las siguientes **89 filas** serán:

1,666 metros – 100 paneles - 3,5 metros – 100 paneles – 3,5 metros – 102 paneles – 3,5 metros - 102 paneles – 3,5 metros – 100 paneles – 3,5 metros – 99 paneles – 2,658 metros.

Entre la primera fila y la última se contarán con 5,25 metros de distancia hasta el borde del terreno.

De estos valores se deducen varias cosas:

- Finalmente, el pitch empleado es de 5,5 metros
- Las distancias de 5,25 metros a los bordes del terreno permiten un acceso sencillo al huerto solar tanto para personas como para vehículos.
- Los 3,5 metros de separación entre cada hilera de paneles permite acceder de manera más sencilla a cada grupo de paneles, acortando la distancia a recorrer en caso de tener que acceder a un determinado grupo de paneles para las operaciones de operación y mantenimiento.

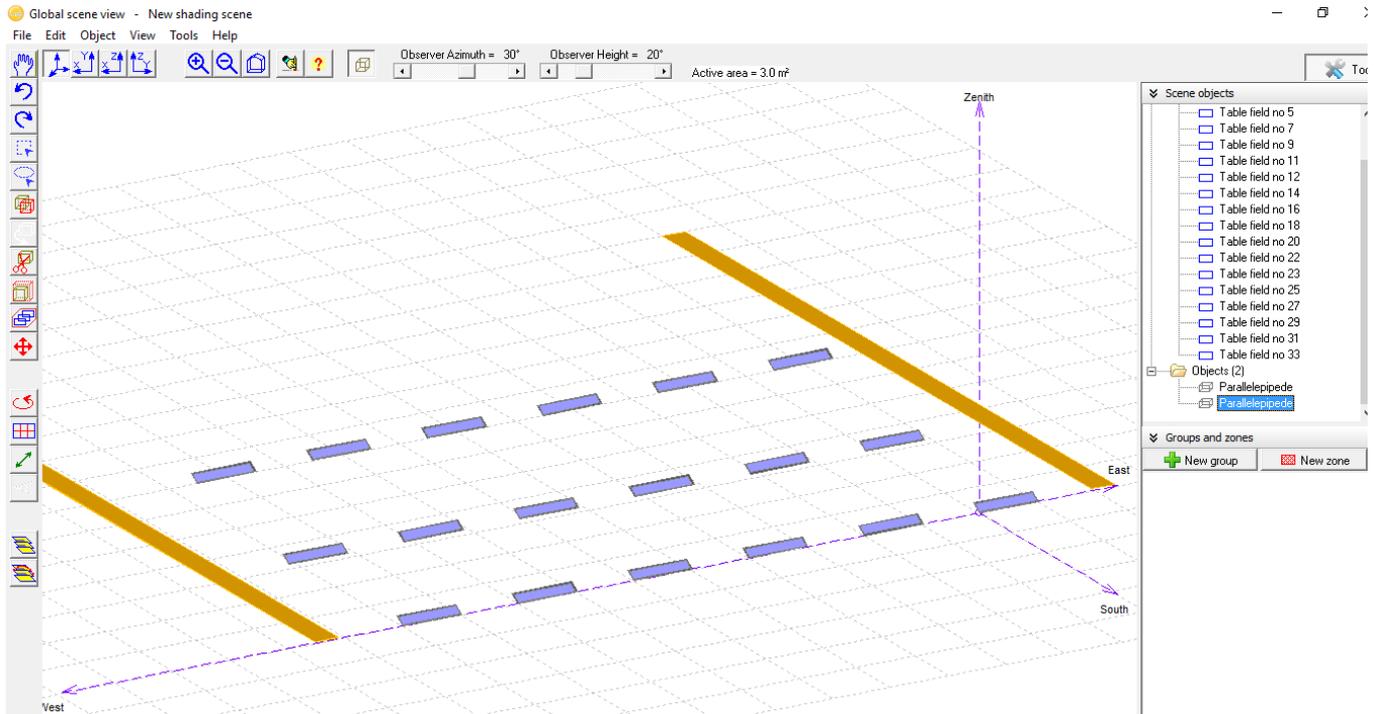


Ilustración 41 - Porción del layout

- **Celdas de distribución primaria:**

La empresa MESA cuenta con celdas de distribución primaria con las siguientes características:

- Tensión nominal: 24/36 kV
- Frecuencia industrial: 50/60 Hz
- Intensidad nominal en el embarrado: 630/1250/1600 A
- Intensidad nominal de corte: 25/31,5 kA
- Capacidad de corte ante cortocircuito: 63/80 kA

La tensión nominal seleccionada es de 36 kV, ya que la tensión en barras en la subestación es de 33 kV, por lo que una de 24 kV sería insuficiente para garantizar el correcto funcionamiento de la misma. En cuanto a la frecuencia, al estar en España la frecuencia de trabajo es de 50 Hz. Para las intensidades de corte, será suficiente con que las celdas sean capaces de conducir a tierra valores de hasta 25 kA y de cortar en caso de llegar a valores de hasta 63 kA (valor de cresta). Por último, para la elección de la intensidad nominal en el embarrado, hay que realizar un sencillo cálculo:

$$P = V * I * \cos\alpha$$

$$I = \frac{P}{V * \cos\alpha}$$

$$I = \frac{20.000.000}{33.000 * 0,8} = 757,58 A$$

A vistas de este resultado, la tensión nominal del embarrado elegida debe ser la de 1250 A, ya que con la de 630 no se podría evacuar de forma correcta la energía generada.

10. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados obtenidos tras la última simulación realizada en el programa PVsyst ya una vez introducidos todos los elementos y datos concretos del presente proyecto. Esta simulación por un lado va a aportar el valor de energía producida al año, parámetro fundamental para la realización del estudio económico del proyecto, ya que esta va a ser el producto final de la instalación. Por otro lado, se van a obtener resultados de eficiencia y funcionamiento de la planta, lo que va a permitir observar cómo todos los pasos previos dados durante la realización del proyecto (debidamente justificados) acaban viéndose recompensados con datos reales que muestran una optimización de los recursos existentes para la máxima obtención de energía eléctrica.

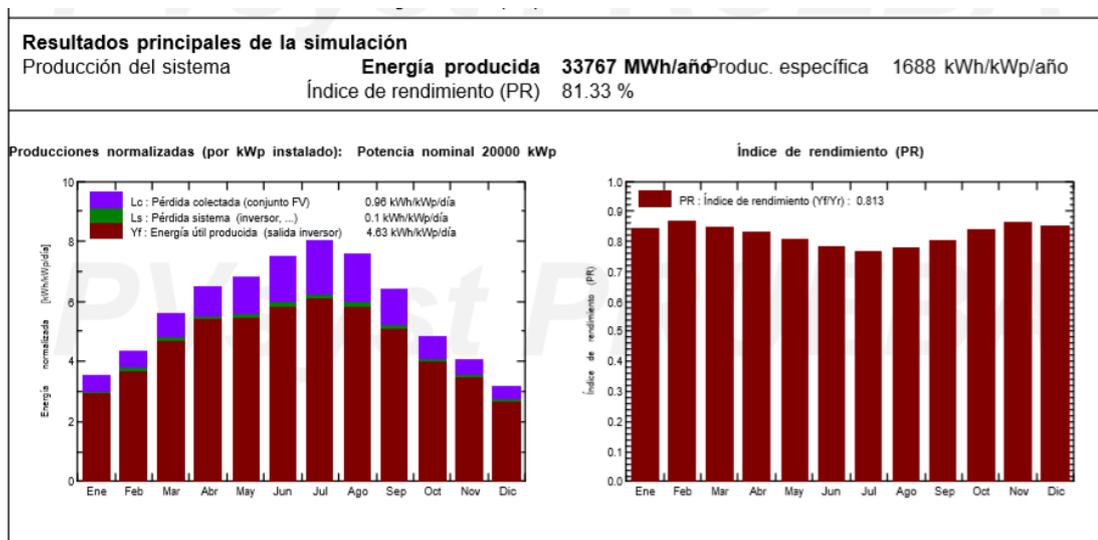


Ilustración 42 - Resultados.

En la ilustración anterior se puede observar como la planta tiene una **producción anual** estimada de **33.767 MWh**. Tomando como referencia los 4.000 kWh/año consumidos por un hogar medio en España (dato extraído de IDEA), una instalación de estas características sería capaz de producir energía para abastecer a 8.440 hogares. Además, se puede observar como el índice de rendimiento (PR) es del 81,33%. Este parámetro indica la calidad de la instalación, y se mide teniendo en cuenta las pérdidas en los paneles, los cables y los inversores. En la industria se tienen valores de entre 0,4 y 0,9, teniendo como media un 0,74 aproximadamente. Teniendo

esto como referencia, se puede afirmar que los pasos dados durante el desarrollo del proyecto han servido para obtener un valor aceptable y de calidad. En cualquier caso, este valor no es exclusivo para determinar la calidad de la planta, ya que no se está teniendo en cuenta el aspecto económico (entre otros), el cual se analizará durante el cálculo del LCOE en el siguiente apartado del proyecto. Por último, también se puede observar como el valor del PR es menor en los meses de verano en comparación con los de invierno. Esto es debido a que las altas temperaturas disminuyen la eficiencia del panel, obteniendo más pérdidas durante estos meses.

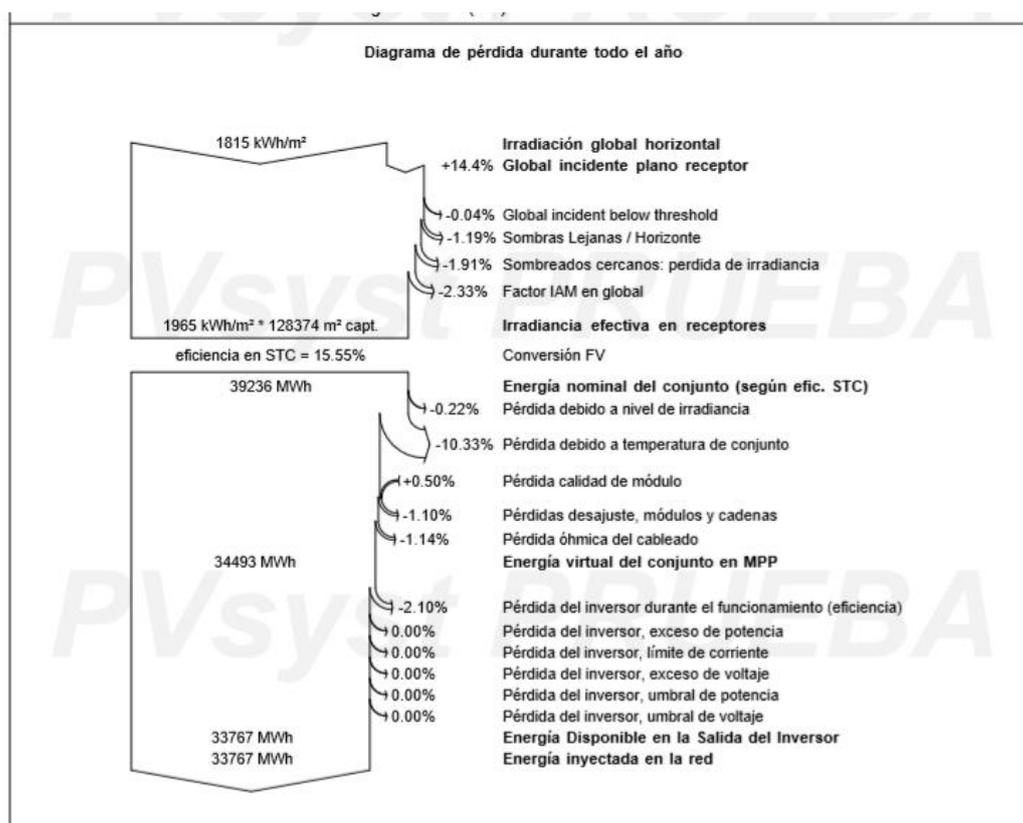


Ilustración 43 - Análisis de pérdidas

En la anterior ilustración, se analiza la conversión de energía desde la irradiación global horizontal incidente en la planta hasta la cantidad de energía eléctrica evacuada de la planta. Como se puede observar, la irradiación global horizontal es de 1.815 kWh/m². Debido a la inclinación de los paneles, la irradiación incidente en los mismos se ve aumentada un 14,4%. Si a eso se le restan las pérdidas debidas entre otras cosas a las sombras reflejadas en la planta, se llega a que la irradiación incidente en la planta es de 1.965 kWh/m². Teniendo en cuenta el área de los captadores y la eficiencia en condiciones estándar (STC) de los paneles, la energía generada con esos niveles de irradiación sería de 39.236 MWh/año. Por último, tras analizar todas las pérdidas que se dan en cada uno de los componentes, se llega al valor ya conocido de 33.767 MWh/año inyectados a la red.

Produced Emissions	Total: 35755.18 tCO ₂		
	Source:	Detailed calculation from table below	
Replaced Emissions	Total: 290732.8 tCO ₂		
	System production:	33766.87 MWh/año	Lifetime: 30 years
			Annual Degradation: 1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions:	287 gCO ₂ /kWh	
	Source:	IEA List	Country: Spain
CO₂ Emission Balance	Total: 216503.6 tCO ₂		

Ilustración 44 - Balance de emisiones de CO₂.

Por último, se tiene el balance de emisiones de CO₂. Como ya se ha comentado desde el principio del presente proyecto, uno de los objetivos de incentivar las energías renovables, es el hecho de reducir con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, con el fin de cumplir con los objetivos marcados a nivel mundial y de aspirar a vivir en un mundo más limpio. Es por ello, que es interesante analizar esta sección de los resultados, ya que es donde se puede apreciar realmente lo que una planta de estas características supone. En la anterior ilustración se compara la energía generada con la presente instalación con lo que supondría generarla con una planta de ciclo combinado. Tal y como se puede apreciar, esto supone un decremento en las emisiones de 216.503,6 toneladas de CO₂ al año.

ASPECTOS ECONÓMICOS

11. DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

A continuación, se tabula el presupuesto desglosado necesario para la correcta realización del presente proyecto:

	%	EUR/MW	EUR
Módulos	62,00%	465.000	9.300.000
Inversores	6,80%	51.000	1.020.000
Estructura	4,00%	30.000	600.000
Obra civil	5,60%	42.000	840.000
Ingeniería	1,60%	12.000	240.000
Interconexión	6,00%	45.000	900.000
Costes de desarrollo	3,00%	22.500	450.000
Impuestos	4,00%	30.000	600.000
Costes financieros	7,00%	52.500	1.050.000
Total	100,00%	750.000	15.000.000

Tabla 5. Presupuesto

A estos costes iniciales habría que añadirles los costes anuales que suponen tanto el alquiler del terreno como las operaciones de mantenimiento que garanticen el correcto funcionamiento del huerto solar. Para el caso concreto de esta planta de 20 MW, los costes aproximados de estas operaciones en España serían de:

	EUR/MW	EUR
Alquiler de terrenos	3.190	63.800
O&M	6.525	130.500

Tabla 6 – OPEX

Por tanto, la inversión inicial necesaria para abordar el proyecto de una planta fotovoltaica de 20 MWe en España es de unos 15.000.000 €. Por otro lado, anualmente se deben abordar unos costes de unos 200.000 € para poder garantizar el bien mantenimiento de la instalación.

Para estudiar la rentabilidad de esta planta, se toma como dato de partida los 41,82 €/MWh que te abonan al introducirlos a la red. Teniendo en cuenta la producción anual de la planta, se estiman unos ingresos anuales de 1.412.135,94 €. Con estos datos, el payback del proyecto es de 12,37 años. Teniendo en cuenta que este tipo de instalaciones tiene una vida útil aproximada de 25 años, durante la segunda mitad de vida del presente proyecto se empiezan a generar beneficios, siendo estos de unos 1.200.000 €/año.

CONCLUSIONES

A continuación, se muestran una serie de conclusiones a tener en cuenta en el diseño de una planta fotovoltaica a nivel industrial:

- **País** → es importante conocer previamente la situación política del país en el que se quiere montar la instalación con respecto a las energías renovables en general y a la solar fotovoltaica en particular. Saber si tiene experiencia en el sector, que PPA se pueden negociar y si apuestan por las energías renovables se tornan variables muy importantes para la elección o el descarte de dicho país como lugar donde desarrollar el proyecto. Además, es importante conocer el precio de los terrenos en dicho país, así como el precio de la electricidad en el mismo. A la hora de realizar el balance económico son variables que entran fuertemente en juego y que se deben tener en consideración. Por último, y no por ello menos importante, se debe obviamente elegir un lugar donde los niveles de irradiación sean altos, ya que no se debe olvidar que el producto final de la instalación es la energía eléctrica generada, y que para ello el combustible empleado es la irradiación. Por tanto, alto niveles de esta última permitirán una mayor generación eléctrica.
- **Terreno** → son varios los puntos que hay que considerar a la hora de elegir el terreno además de su valor de mercado. Por un lado, para la correcta instalación y distintas operaciones de mantenimiento que se puedan dar durante el ciclo de vida de la planta, es necesario que el terreno cuente con buenos accesos al mismo, así como que el layout de la planta permita la correcta movilidad a través de la misma.

Además, para garantizar una optimización a nivel energético, es aconsejable disponer de un terreno con la menor pendiente posible, así como tratarse de un terreno diáfano, sin obstáculos alrededor que puedan generar sombras sobre la instalación.

Por último, es necesario contar con una subestación eléctrica cercana al terreno, ya que se necesita contar con un punto de enganche a la red que permita evacuar la energía generada. No contar con un punto cercano a red podría encarecer el proyecto hasta tal punto que hiciera de este algo no viable económicamente hablando.

- **Paneles** → antes de elegir el tipo de panel que se va a escoger, es necesario saber qué es lo que se quiere, ya que no existe el panel perfecto, sino que cada uno cuenta con sus ventajas y sus desventajas.

Los dos tipos de paneles que actualmente más se emplean en el mercado son los de Silicio (mono y poli cristalinos) y los de capa fina (CIGS). Los primeros son los más eficientes del mercado (alrededor de un 16%), siendo los monocristalinos más eficientes que los policristalinos. Sin embargo, estos paneles necesitan más pasos durante su proceso de producción, lo que supone un precio de mercado más elevado que los de capa fina. Por otro lado, los paneles de capa fina son paneles muy económicos y flexibles, pero su baja eficiencia (entorno al 11%), hacen que el área requerida para obtener la misma energía que empleando paneles de Silicio sea mayor.

- **Inversores** → la unión entre paneles e inversores es un paso clave en el diseño de una planta fotovoltaica. Por un lado, hay que estudiar correctamente el lugar donde está emplazada la planta. Este estudio tiene que centrarse en conocer qué potencia de salida va a tener regularmente la planta, ya que, a pesar de tener una potencia instalada, tal y como se ha visto durante la realización del proyecto, la planta trabajará a una potencia o a otra en función de la irradiación incidente, la temperatura de los paneles y de las sombras incidentes en los mismo entre otros factores. Con dicho estudio se podrá estimar la potencia necesaria de los inversores, que oscilará entre 0,9 y 1,1 veces el valor de la potencia instalada. De esta manera se obtendrá una combinación optimizada entre rendimiento y economía. Además, es necesario un correcto análisis para la conexión de paneles en serie/paralelo entre ellos para garantizar un correcto funcionamiento del conjunto paneles-inversores.

- **Layout** → para la correcta disposición de los paneles primero es necesario conocer que existen varias maneras de disponer los paneles solares. Los paneles solares pueden contar con un tracking a dos ejes (a día de hoy uso casi residual, pero debería ser el futuro del sector). Otra opción que está empezando a ganar fuerza y cada vez es más empleada es la de tracking a un eje, en el que una vez elegida una orientación de los paneles, estos tienen la opción de variar su inclinación para ir siguiendo la posición del sol y hacer

que este incida de manera directa (horizontal) sobre su superficie, siendo de esta manera el proceso de absorción de irradiación mayor. Por último, el sistema más empleado hasta el momento es el de disposición fija, donde se elige una orientación en inclinación que maximicen la producción de energía anual.

En el caso de escoger una disposición fija, al igual que se ha hecho en el presente proyecto, se tienen que tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Orientación: normalmente la orientación óptima es la sur, pero esto puede variar en función de la latitud a la que se encuentre la instalación, variando en una cierta cantidad de grados hacia el este o el oeste la orientación óptima de la instalación.
- Inclinación: tal y como se ha comentado anteriormente, lo adecuado es inclinar los paneles de tal forma que se optimice la producción anual. Para ello es recomendable contar con un programa que permita realizar diferentes simulaciones y así analizar resultados, ya que a pesar de que existen valores tabulados para cada latitud, cada terreno y entorno hace cada instalación única y por tanto un correcto análisis puede ayudar a optimizar la instalación.
- Pitch: se trata de encontrar un balance entre área ocupada y energía producida, ya que en este apartado no sólo entra el apartado energético sino también el económico (precio del metro cuadrado). Por tanto, se recomienda de nuevo el uso de un programa de simulación.
- Disposición: un layout estudiado previamente ayudará no sólo a las obras de mantenimiento sino también a las diferentes conexiones eléctricas y electrónicas requeridas en la instalación. Una buena disposición de los paneles puede facilitar dichas conexiones haciendo el trabajo de ingeniería más simple y económico.

BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.adrase.com/>
- www.adrase.com/adrasemaps/php/monthly_popup.php?lat=38.87&lon=-5.47&var_tipe=0
- <https://www.google.com/maps>
- <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>
- <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2016/01/15/energia-solar-fotovoltaica-origenes-desarrollo-y-actualidad/>
- <https://www.elmundo.es/economia/2017/03/13/58c11c3522601da3218b45e8.html>
- <http://www.rtve.es/alacarta/videos/la-aventura-del-saber/aventurarevsolar/4235638/>
- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/87964/35606484T_trabajo_149937_47245442820165277670677992.pdf?sequence=2
- <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/bypass-diode.html>
- <https://www.du.se/>
- file:///C:/Users/gonza_000/Desktop/Gonzalo/Electrónica/TEMA%204%20-%20INVERSORES.pdf
- [file:///C:/Users/gonza_000/Desktop/Gonzalo/Electrónica/Presentación%20tema4%20Inversores%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/gonza_000/Desktop/Gonzalo/Electrónica/Presentación%20tema4%20Inversores%20(1).pdf)
- <https://es.climate-data.org/europe/espana/extremadura/badajoz-714920/>
- <http://www.mesa.es/productos/pdf/DVCAS%20MESA%20-%20330%20-%200413.pdf>
- <http://www.mesa.es/productos/pdf/221%20CBGS0.pdf>
- <http://www.mesa.es/productos/pdf/Flyer%20CBGS0.pdf>
- <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-es-11.pdf>
- <http://guiaenergia.idae.es/el-consumo-energia-en-espana/>

- <https://tecnosolab.com/noticias/fotovoltaicas-de-conexion-a-red-nuevos-parametros-retributivos/>

ANEXO I: Planos, esquemas, diseño de detalle o de bajo nivel, código

- **Características del panel:**

Definition of a PV module

Basic data | Additional Data | Model parameters | Sizes and Technology | Commercial | Graphs

Model: CS6K - 255P Manufacturer: Canadian Solar Inc.

File name: Canadian_CS6K_255P.PAN Data source: Manufacturer 2015

Original PVsyst database Prod. desde 2013

Nom. Power: Wp Tol. +/-: % Technology: Si-poly

Manufacturer specifications or other Measurements

Reference conditions:	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m ²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Short-circuit current	Isc	<input type="text" value="9.000"/> A	Open circuit Voc	<input type="text" value="37.40"/> V
Max Power Point:	Imp	<input type="text" value="8.430"/> A	Vmpp	<input type="text" value="30.20"/> V
Temperature coefficient	mulsc	<input type="text" value="5.9"/> mA/°C	Nb cells 60 en serie	
	or mulsc	<input type="text" value="0.065"/> %/°C		

Model summary

Main parameter

R shunt	250 ohm
Rsh(G=0)	1000 ohm
R serie model	0.33 ohm
R serie max.	0.38 ohm
R serie apparent	0.50 ohm

Model parameters

Gamma	0.964
IoRef	0.10 nA
muVoc	-135 mV/°C
muPM max fixed	-0.43 /°C

Internal model result tool

Operating conditions	GOper	<input type="text" value="1000"/> W/m ²	TOper	<input type="text" value="25"/> °C
Max Power Point:	Pmpp	<input type="text" value="254.6"/> W	Temper. coeff.	<input type="text" value="-0.42"/> %/°C
	Current Imp	<input type="text" value="8.44"/> A	Voltage Vmpp	<input type="text" value="30.1"/> V
Short-circuit current	Isc	<input type="text" value="9.00"/> A	Open circuit Voc	<input type="text" value="37.4"/> V
Efficiency	/ Cells area	<input type="text" value="17.43"/> %	/ Module area	<input type="text" value="15.55"/> %

Show Optimization Copy to table Print Cancel OK

Ilustración 45 - Características generales

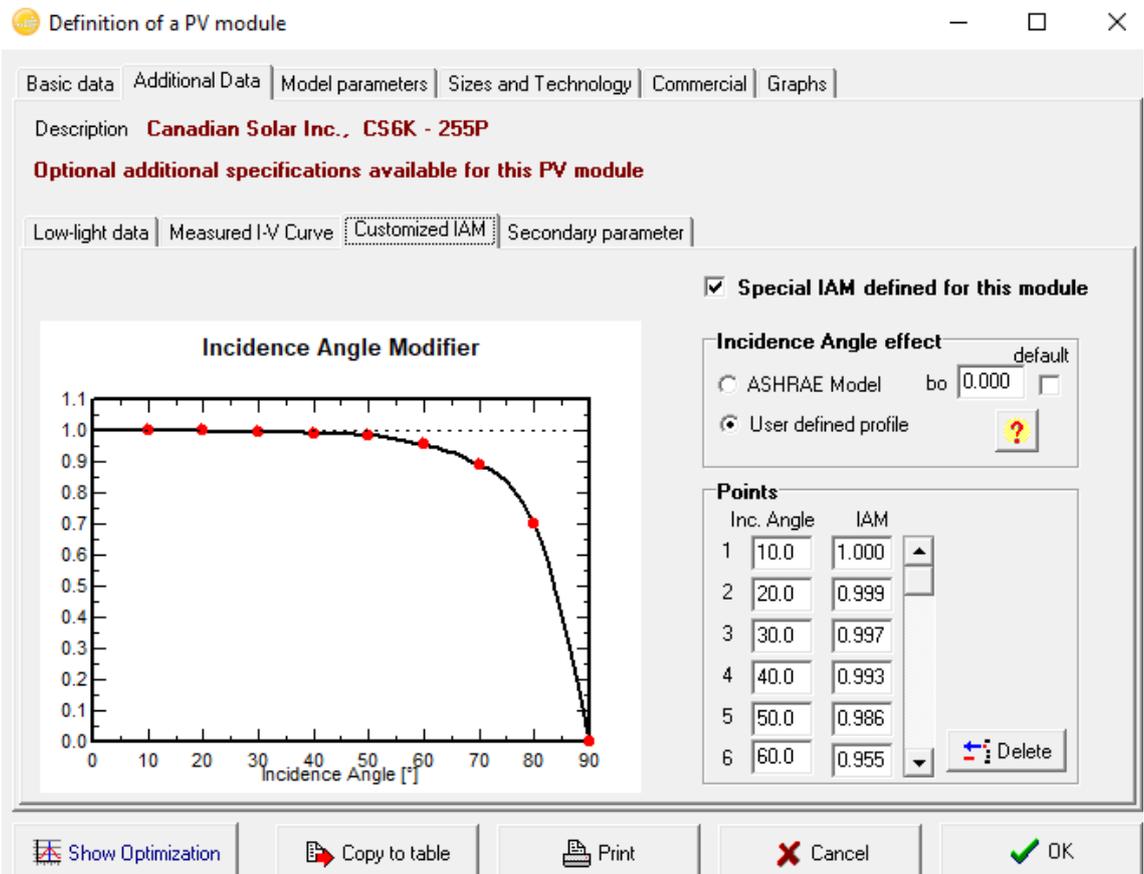


Ilustración 46 - Ángulo de incidencia

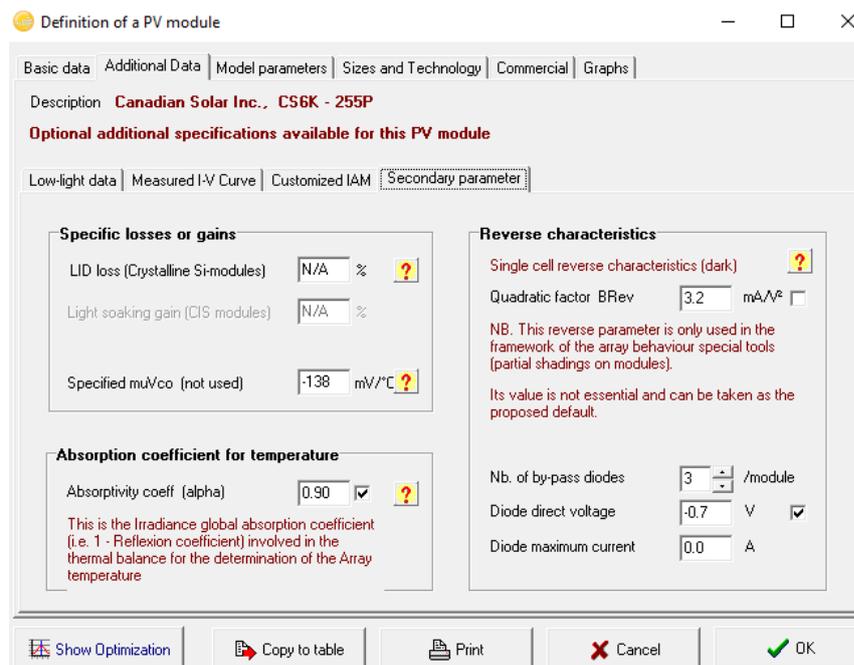


Ilustración 47 - Diodos by-pass y coeficientes de temperatura

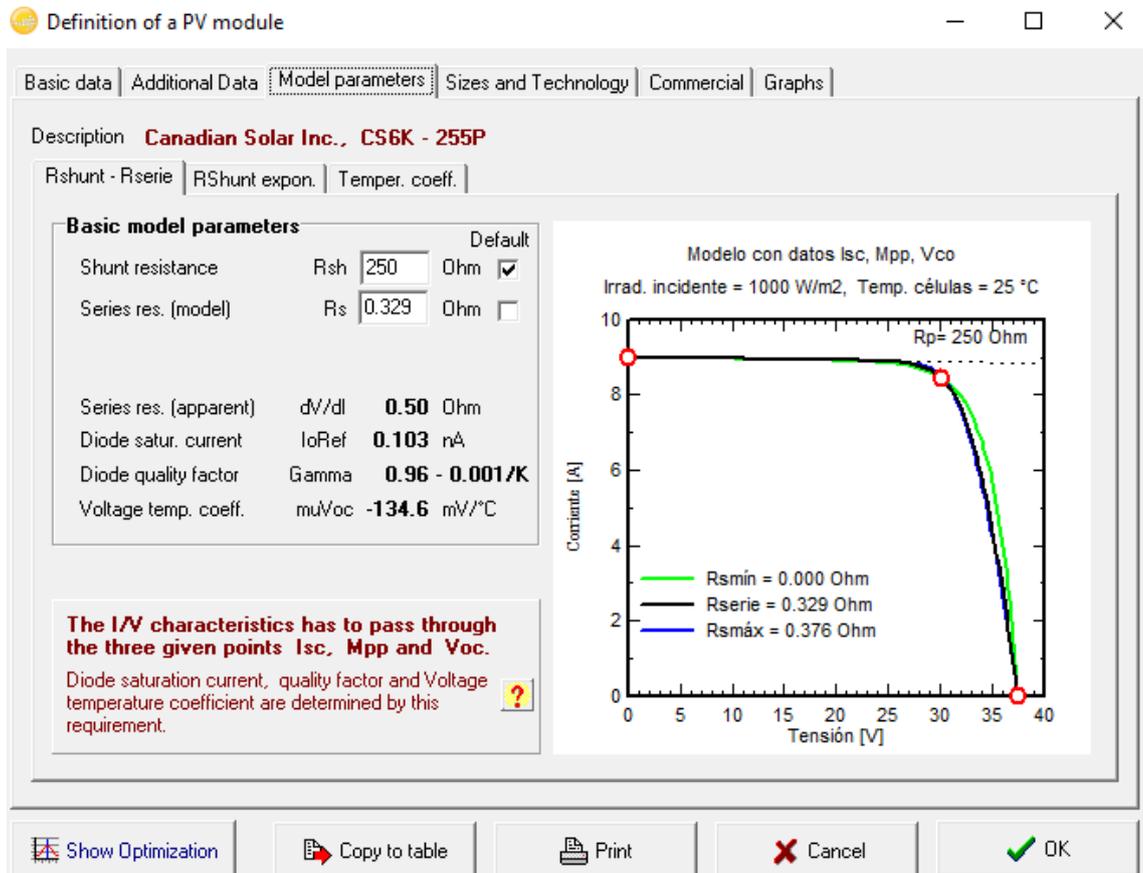


Ilustración 48 - Resistencias en serie y paralelo

- Voc : -134.7 mV/K (-0.36%/K)
- Vmpp: -139.5 mV/K (-0.46%/K)
- Pmpp: -1073.3 mW/K (-0.42%/K)

Ilustración 49 . Coeficientes de temperatura

Description **Canadian Solar Inc., CS6K - 255P**

Module		Cells	
Length	1650 mm	In series	60
Width	992 mm	In parallel	1
Thickness	35.0 mm	Cell area	243.4 cm ²
Weight	18.50 kg	Total nb. cells	60
Module area	1.637 m ²	Cells area	1.46 m ²

Definition of Module's sizes is mandatory: it is used for the determination of the "usual" efficiency. .
 Cells area is facultative: if defined it allows for the definition of the efficiency at cell level.

Maximum Array Voltage
 Absolute maximum voltage of the Array in any conditions (i.e. Voc at lowest possible ambient temperature).
 Maximum voltage IEC: 1000 V
 Maximum voltage UL (US): 600 V

By-pass protection diodes
 Nb. of by-pass diodes: 3 /module
 Sub-module partition: In length, In width, Mixed

Ilustración 50 - Características geométricas

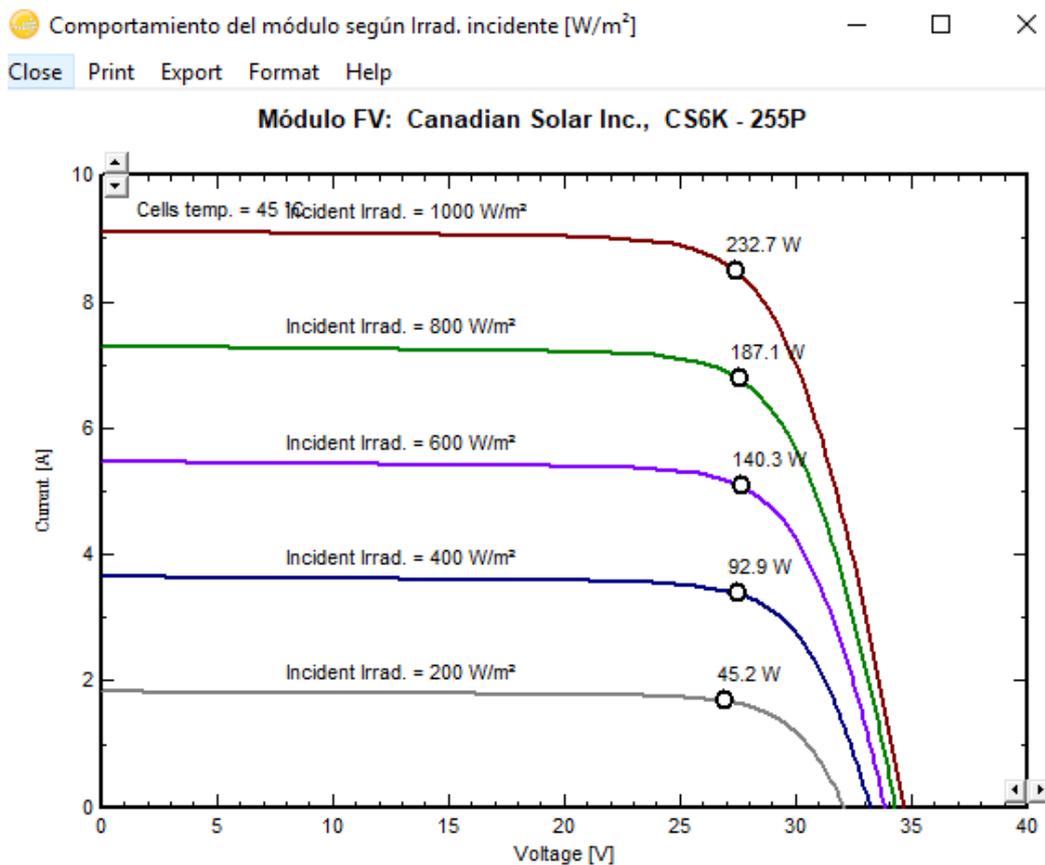


Ilustración 51 - Curvas IV a diferentes niveles de irradiación

Comportamiento del módulo según Temperatura [°C]

 Close Print Export Format Help

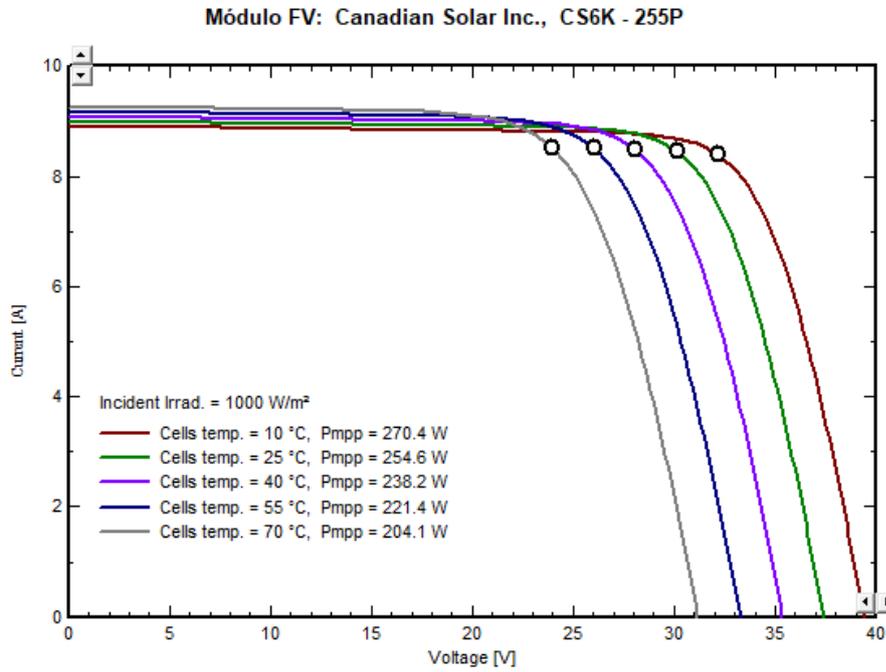


Ilustración 52 - Curvas IV a diferentes temperaturas

Comportamiento del módulo según Irrad. incidente [W/m²]

 Close Print Export Format Help

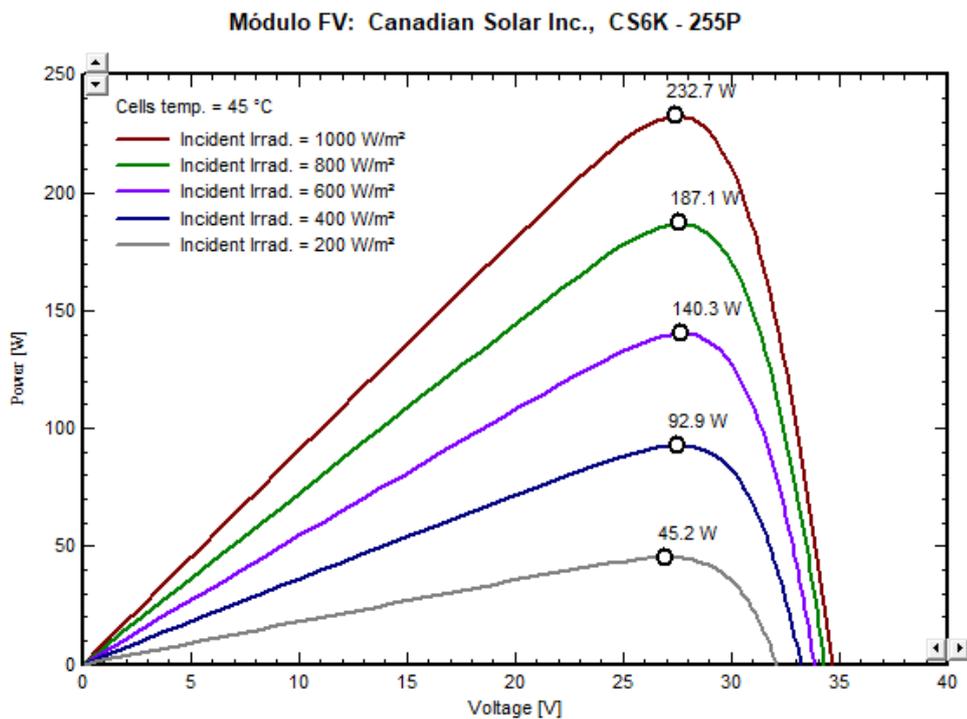


Ilustración 53 - Curvas PV a diferentes niveles de irradiación

Comportamiento del módulo según Temperatura [°C] - □ ×

Close Print Export Format Help

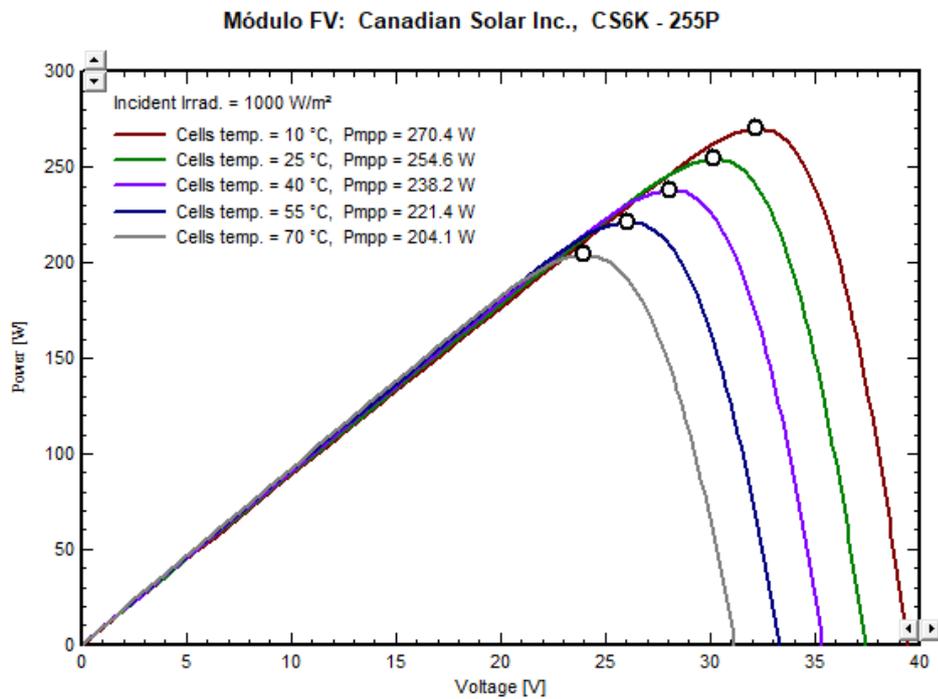


Ilustración 54 - Curvas PV a diferentes temperaturas

Comportamiento del módulo según Temperatura [°C] - □ ×

Close Print Export Format Help

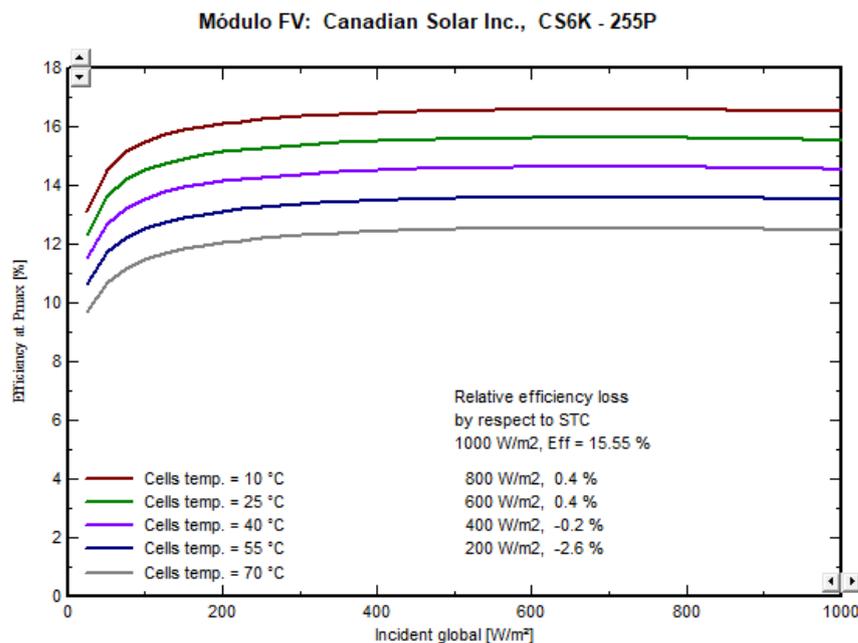


Ilustración 55 - Eficiencia en función de la irradiación y la temperatura

- **Características del inversor:**

Definición de un inversor para la red

Parámetros principales | Curva de eficiencia | Parámetros adicionales | Parámetros de salida | Dimensiones y Tecnología | De:

Modelo: Fabricante:
 Nombre archivo: Origen de datos:
 Base de datos PVsyst original Prod. desde 2010 a 2013

Lado entrada (Campo FV CC)

Voltaje MPP mínimo V
 Voltaje mín. para Pnom V
 Corriente de entrada máxima A
 Voltaje MPP nominal V
Voltaje MPP máximo V
Voltaje FV máx. absoluto V
Umbral de la potencia W

Especificación contractual, sin significado físico verdadero. Obligatorio

Potencia nominal FV kW
 Potencia máxima FV kW
 Corriente máxima FV A

Lado salida (Red CA)

Monofásico Trifásico Bifásico

Frecuencia 50 Hz 60 Hz

Voltaje de Red V
Potencia nominal CA kW
 Potencia máxima CA kW
 Corriente CA nominal A
 Corriente CA máxima A

Eficiencia

Eficiencia máxima %
Eficiencia EURO %
 Eficiencia definida para 3 voltajes

Ilustración 56 - Parámetros principales

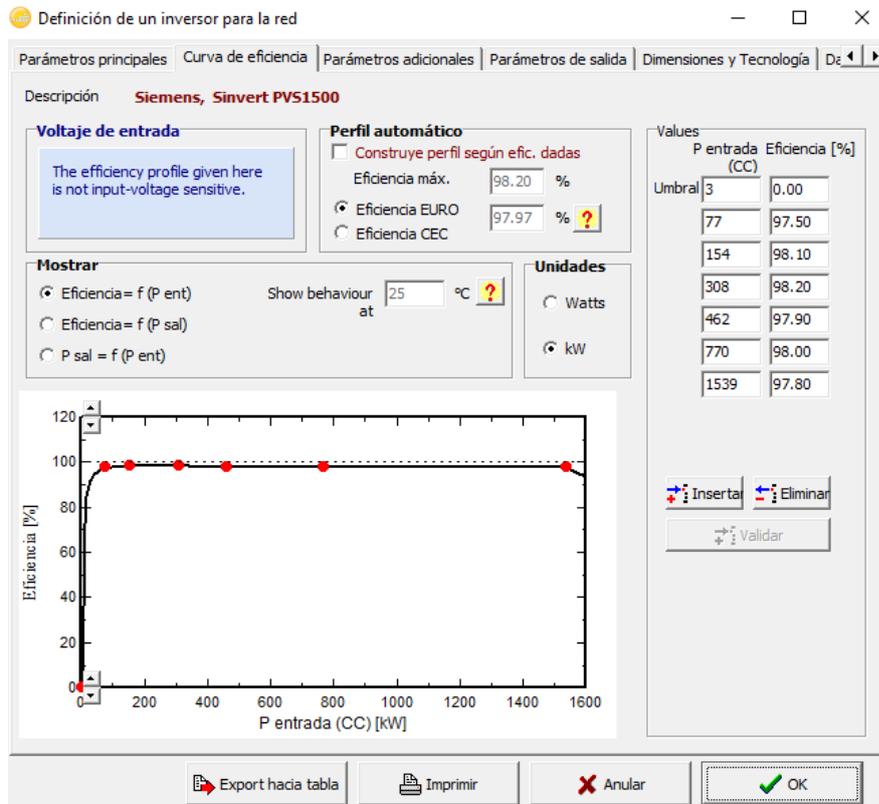


Ilustración 57 - Curva de eficiencia

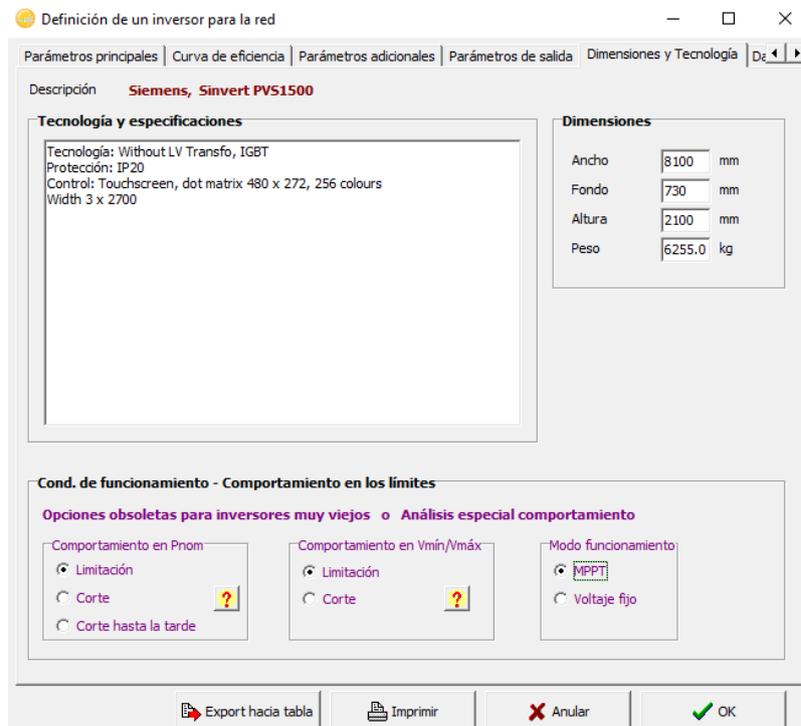
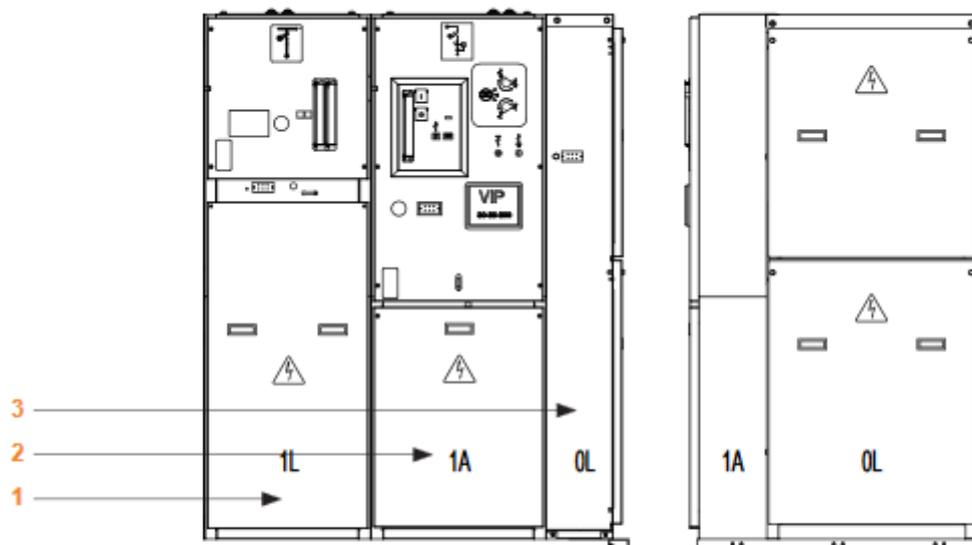


Ilustración 58 - Características geométricas

- **Características de las celdas de protección DVCAS:**

1. Presentación general:



1. Módulo de línea
2. Módulo de protección
3. Módulo de remonte

Ilustración 59 - Presentación general

2. Tipos de protecciones:

- Función (1P):** protección con interruptor fusible combinado, en la cuál el interruptor seccionador en combinación con fusibles, es capaz de proteger transformadores de hasta 1250 kVA en 36 kV o 1600 kVA en 24 kV. Éste límite se establece cumpliendo las exigencias de la norma IEC 62271-105 para interruptores fusibles combinados.
- Función (1A):** protección con interruptor automático para potencias mayores que 1250 kVA en 36 kV o 1600 kVA en 24 kV.

Ilustración 60 - Tipos de protecciones.

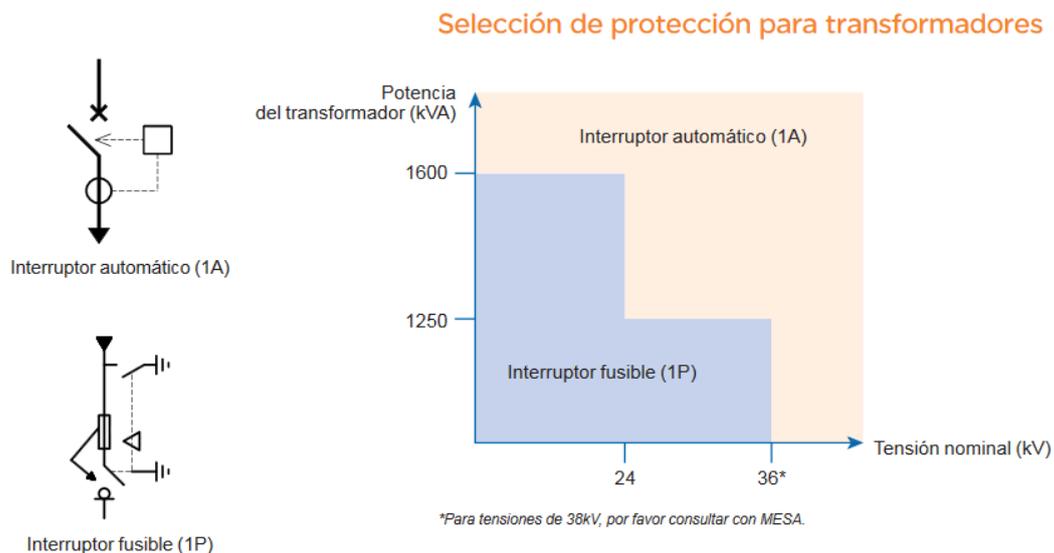


Ilustración 61 - Tipos de protecciones.

En el presente proyecto, tal y como se verá a continuación, se hará uso de la protección 1A, empleando para la protección de los transformadores las características aportadas por el interruptor automático, ya que, para la potencia de la presente instalación, el uso de fusibles carece de sentido por no poder soportar maniobras de la correspondiente dimensión eléctrica.

3. Configuración seleccionada:

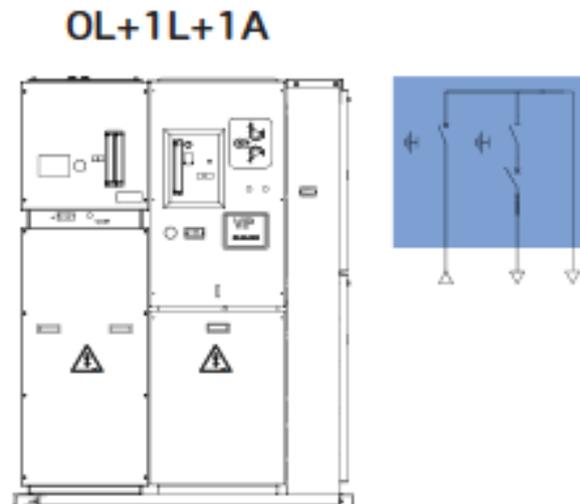


Ilustración 62 - Configuración de celda seleccionada.

Siendo la función de cada módulo la descrita a continuación:

- **Módulo 0L:** Función de remonte a barras
- **Módulo 1L:** Función de maniobra con interruptor-seccionador.
- **Módulo 1A:** Función de protección con interruptor automático, tal y como se ha descrito anteriormente.

El uso de esta configuración nutre a la instalación de:

- Seguridad → al contar con la función de remonte a barras, cuando existe un cortocircuito, el área afectada queda aislada sin necesidad de procedimientos operativos o enclavamientos. Además, no existe el riesgo de poner a tierra la subestación cuando se vuelve a energizar.
- Optimización del coste → como se acaba de comentar, no son necesarios los enclavamientos para la puesta a tierra de la subestación, lo que supone un ahorro en el presupuesto final de la instalación.
- Ahorro del espacio → tal y como se mostrará a continuación, las dimensiones de las celdas son muy adecuadas para la optimización del espacio. De hecho, la empresa MESA es líder en suministro de celdas en el sector eólico debido a entre otras cosas su tamaño,

ya que permite la ubicación de las celdas dentro de los propios aerogeneradores, lo que supone una gran ventaja competitiva con respecto a otros proveedores.

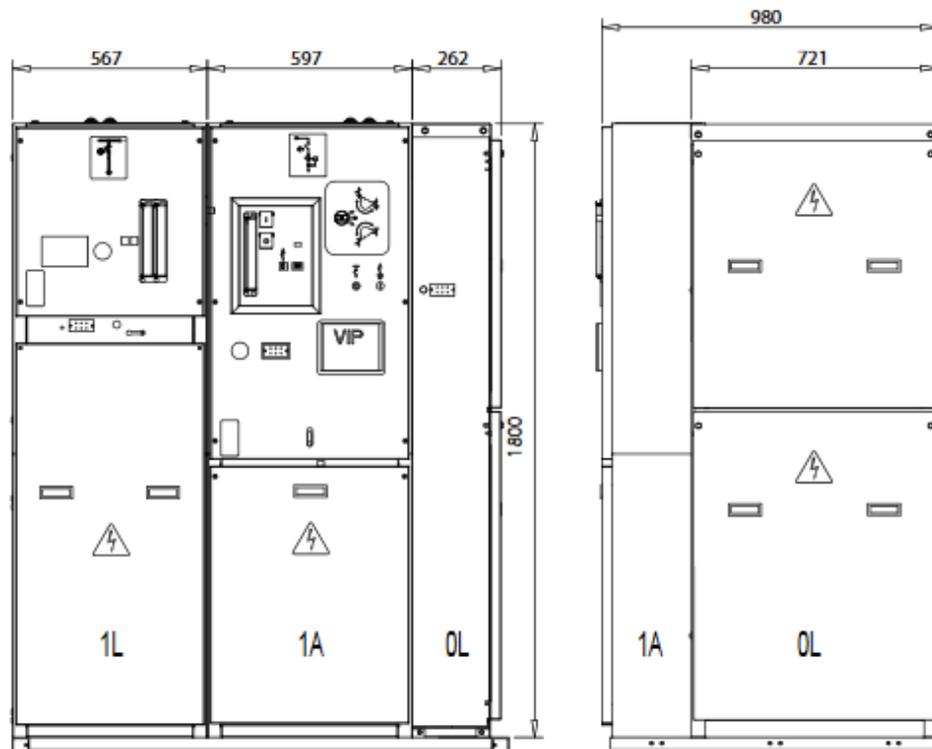
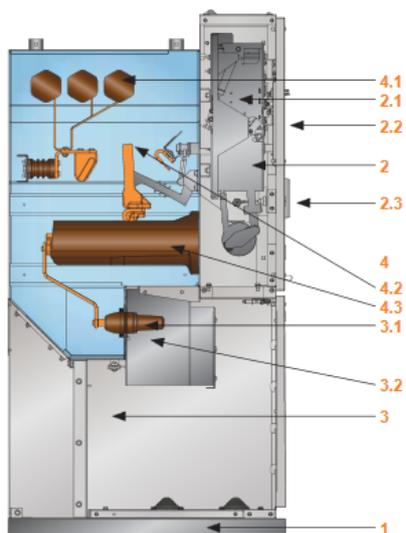


Ilustración 63 - Medidas de las celdas DVCAS.

A continuación, se desglosa cada módulo para exponer las características de los mismos con mayor detenimiento:

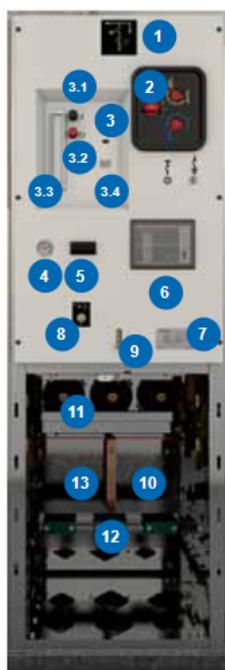


Módulo de protección de transformador 1A

Incluye el interruptor automático de vacío y el seccionador de tres posiciones. Puede incluir remonte rígido de acometida a barras.

1. Bancada metálica
2. Compartimento de mecanismos de mandos y relés
 - 2.1. Mando del seccionador
 - 2.2. Mando del interruptor automático
* motor para el mando (opcional)
 - 2.3. Relé de protección VIP
3. Compartimento de cables de MT
 - 3.1. Pasatapas para conexión de cables
 - 3.2. Tres sensores de intensidad de fase CRc
* Dos cables por fase manteniendo las mismas dimensiones (opcional)
4. Cuba de SF6 sellada de por vida
 - 4.1. Embarrado
 - 4.2. Seccionador de tres posiciones
 - 4.3. Interruptor automático de vacío

Ilustración 64 - Módulo 1A.



Protección del interruptor automático. Mecanismos

1. Sinóptico
2. Mando del seccionador
 - 2.1. Seccionador: abierto-cerrado
 - 2.2. Seccionador de tierra: abierto-cerrado
 - 2.3. Indicadores de posición
3. Mando del Interruptor automático
 - 3.1. Pulsador de cierre
 - 3.2. Pulsador de apertura
 - 3.3. Puntos de accionamiento por palanca de carga manual de muelles
 - 3.4. Indicadores mecánicos de posición y de carga de muelles
4. Indicador de la presión de SF6 en el interior de la cuba
5. Indicador de presencia de tensión
6. Relé de protección (Serie VIP)
7. Placa de características
8. Cerradura de bloqueo puesta a tierra cables (opcional)
9. Pestillo de apertura-cierre de la puerta del compartimento de cables de potencia
10. Compartimento de cables de MT
11. Pasatapas para conexión de cables
12. Bridas para sujeción de cables
13. Pletina colectora de tierra

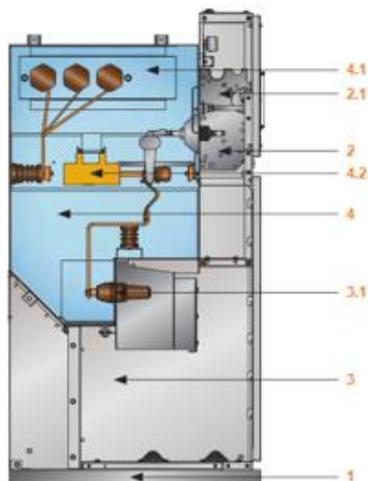
Ilustración 65 - Módulo 1A.

Características técnicas y eléctricas

Tensión nominal	(kV)	36*
Frecuencia	(Hz)	50/60
Intensidad nominal	(A)	630
Intensidad de cortocircuito (valor eficaz)	(kA/s)	20/3
Intensidad de cortocircuito (valor cresta)	(kA)	50/52
Nivel de aislamiento		
A frecuencia industrial (50/60Hz-1 min)	(kV)	70
A onda de impulso tipo rayo	(kV)	170
Interruptor automático		
Endurancia eléctrica	(Clase)	E2
Endurancia mecánica	(Clase)	M1
Capacidad de corte en cortocircuito (valor eficaz)	(kA)	20
Seccionador de tres posiciones		
Endurancia eléctrica	(Clase)	E0
Endurancia mecánica	(Clase)	M0

*Para tensiones de 38kV, consultar con MESA

Ilustración 66 - Características técnicas y eléctricas del módulo 1A.



- 1. Bancada metálica
 - 2. Compartimento de mecanismos de mandos
 - 2.1. Mando del interruptor-seccionador
* Mando motorizado (opcional)
 - 3. Compartimento de cables de MT
 - 3.1. Pasatapas para conexión de cables
* Dos cables por fase manteniendo las mismas dimensiones (opcional)
Indicador de falta de paso (Flair) opcional
 - 4. Cuba de SF6 sellada de por vida
 - 4.1. Embarrado
 - 4.2. Interruptor seccionador de 3 posiciones
- * Contactar con MESA para diferentes configuraciones

Ilustración 67 - Módulo 1L.



Mecanismos del interruptor seccionador

- 1. Sinóptico
- 2. Mando del interruptor seccionador
 - 2.1. Interruptor seccionador : abierto/cerrado
 - 2.2. Interruptor seccionador de tierra: abierto-cerrado
 - 2.3. Indicadores de posición del interruptor seccionador
- 3. Indicador de la presión de SF6 en el interior de la cuba
- 4. Placa de características
- 5. Indicador de presencia de tensión
- 6. Cerradura de bloqueo puesta a tierra cables (opcional)
- 7. Indicador de paso de falta (opcional)
- 8. Compartimento de cables de MT
- 9. Pasatapas para conexión de cables
- 10. Bridas de sujeción de cables
- 11. Pletina colectora de tierra

Ilustración 68 - Módulo 1L.

Características técnicas y eléctricas

Tensión nominal	(kV)	36*
Frecuencia	(Hz)	50/60
Intensidad nominal	(A)	630
Intensidad de cortocircuito (valor eficaz)	(kA/s)	20/3
Intensidad de cortocircuito (valor cresta)	(kA)	50/52
Nivel de aislamiento		
A frecuencia industrial (50/60Hz-1 min)	(kV)	70
A onda de impulso tipo rayo	(kV)	170
Interruptor - seccionador		
Endurancia eléctrica	(Clase)	E3
Endurancia mecánica	(Clase)	M1
Seccionador de puesta a tierra		
Endurancia eléctrica	(Clase)	E2
Endurancia mecánica	(Clase)	M0

*Para tensiones de 38kV, consultar con MESA

Ilustración 69 - Características técnicas y eléctricas del módulo 1L.

Características técnicas y eléctricas

Tensión nominal	(kV)	36*
Frecuencia	(Hz)	50/60
Intensidad nominal	(A)	630
Intensidad de cortocircuito (valor eficaz)	(kA)	20/3
Intensidad de cortocircuito (valor cresta)	(kA)	50/52
Nivel de aislamiento		
A frecuencia industrial (50/60Hz-1 min)	(kV)	70
A onda de impulso tipo rayo	(kV)	170
Categoría del seccionador de puesta a tierra (OLT)		
Endurancia eléctrica		E2
Endurancia mecánica		M0

*Para tensiones de 38kV, consultar con MESA

Ilustración 70 - Características técnicas y eléctricas del módulo 0L.

- **Características de las celdas de protección CBGS-0:**

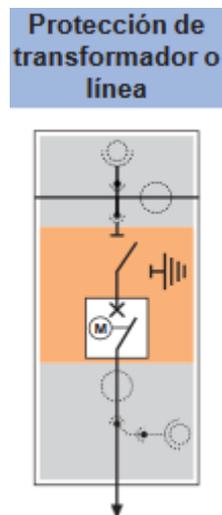


Ilustración 71 - Esquema simplificado de una celda de protección de línea.

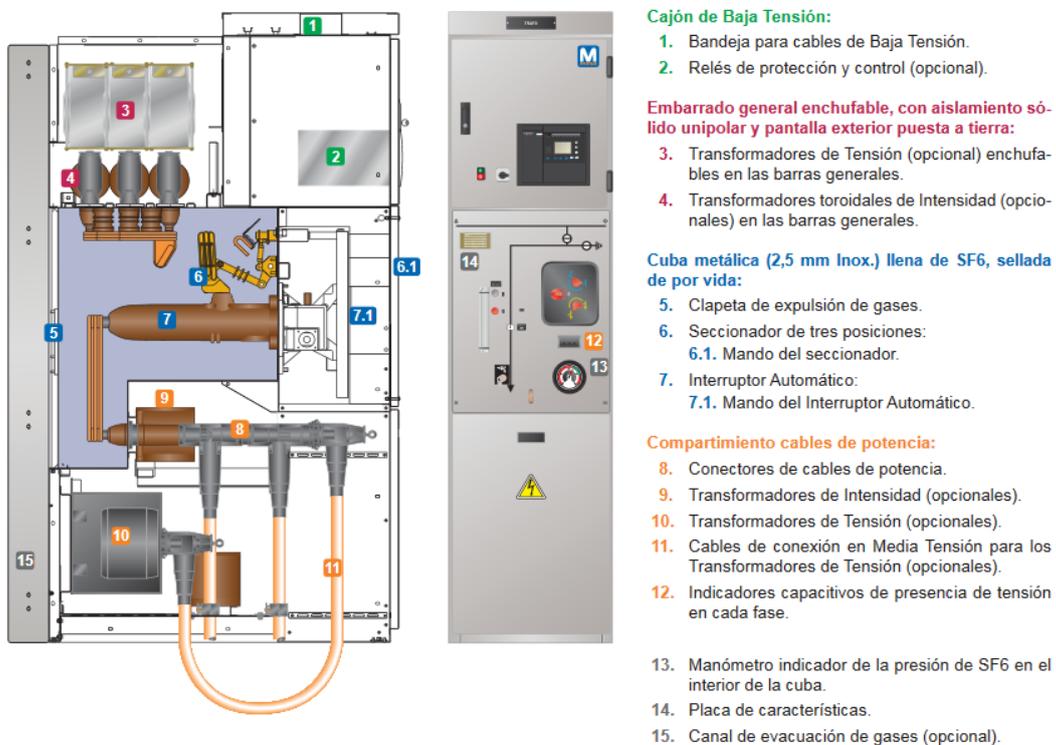


Ilustración 72 - Arquitectura general.

Además de las celdas necesarias para cada línea, será necesaria una celda de servicios auxiliares cuyo esquema se muestra a continuación:

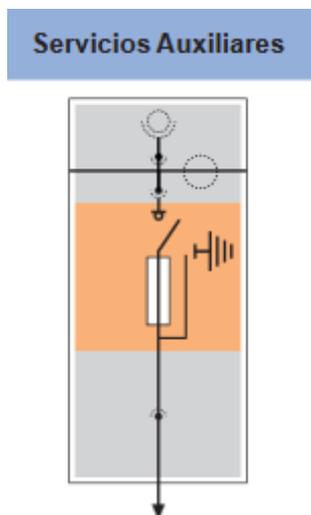
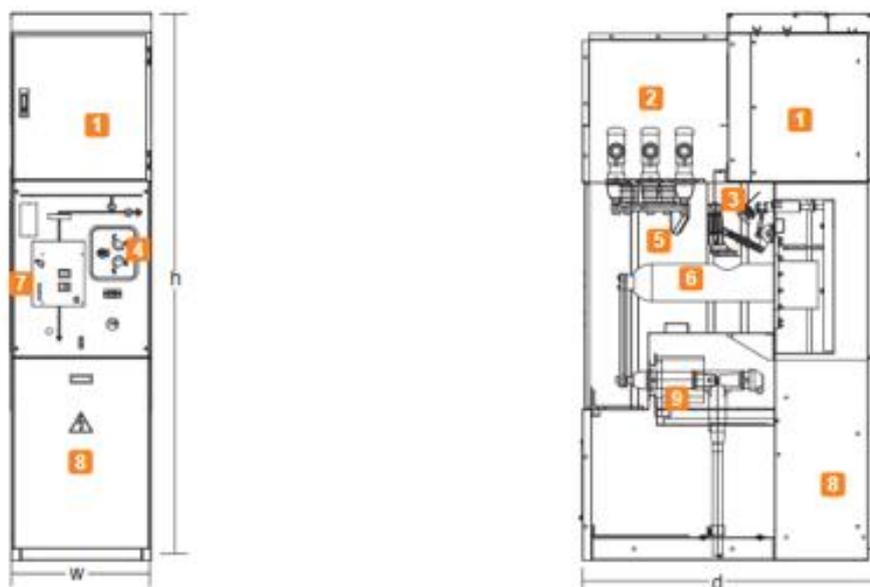


Ilustración 73 - Celda de servicios auxiliares.

Como se puede apreciar en el esquema, la celda cuenta con un fusible en vez de con un interruptor seccionador de 3 posiciones. Es por ello que la intensidad nominal es mucho menor, de aproximadamente unos 10 A, mientras que la de las celdas es de 630 A.



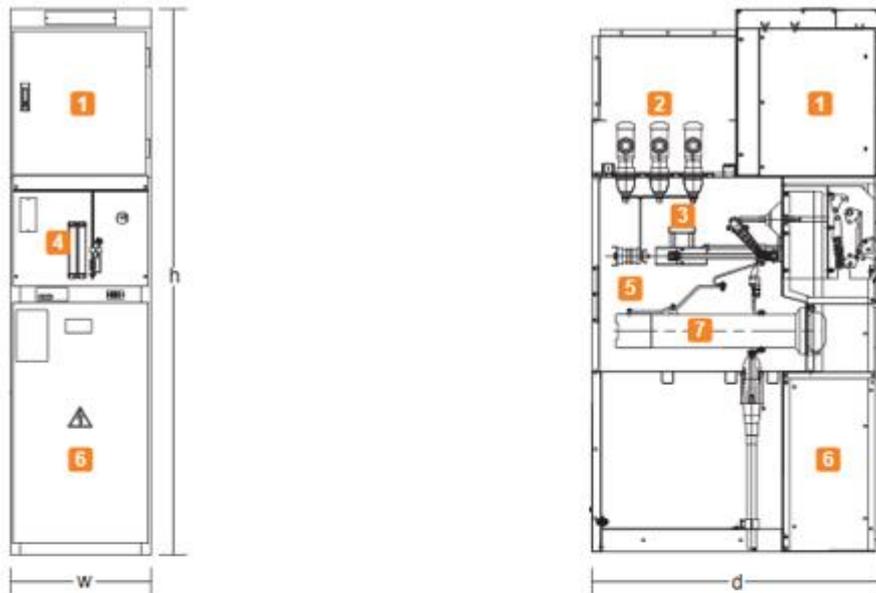
		IX-S				
Tensión nominal	kV	12	17,5	24	36	
Nivel de aislamiento nominal	kV rms - 1 min	28	38	50	70	
	kV impulso 1,2/50 μ s	75	95	125	170	
Intensidad nominal (barras)	A	1250	■	■	■	■
		1600	□	□	□	□
		2000	□	□	□	□
Intensidad nominal (derivaciones)	A	630	■	■	■	■
		1250	□	□	□	□
		1600	□	□	□	□ ⁽¹⁾
		2000	□ ⁽²⁾	□ ⁽²⁾	□ ⁽²⁾	□ ⁽²⁾
Capacidad de interrupción	kA	25/31,5				
Corr. corta duración admisible	kArms 3 s	25/31,5				
(w) Ancho	mm	600				
(h) Altura ⁽¹⁾	mm	2350				
(d) Profundidad ⁽²⁾	mm	1250				
Peso aproximado	Kg	650				

⁽¹⁾ 2500 mm con Transformadores de Tensión para barras de 2000A.

⁽²⁾ 1400 mm para la opción con protección de arco interno.

⁽³⁾ 1200 mm de ancho.

Ilustración 74 - Características geométricas de las celdas de protección de líneas.



		AS-S			
Tensión nominal	kV	12	17,5	24	36
Nivel de aislamiento nominal	kV rms - 1 min	28	38	50	70
	kV impulso 1,2/50 μs	75	95	125	170
Intensidad nominal (barras)	A	1250	■	■	■
		1600	□	□	□
		2000	□	□	□
Intensidad nominal (derivaciones)	A	Limitado por fusible (ver Pág. 19)			
Capacidad de interrupción	kA	Limitado por fusible			
Corr. corta duración admisible	kA rms 3 s	Limitado por fusible			
(w) Ancho	mm	600			
(h) Altura ⁽¹⁾	mm	2350			
(d) Profundidad ⁽²⁾	mm	1250			
Peso aproximado	kg	550			

⁽¹⁾ 2500 mm con Transformadores de Tensión para barras de 2000A.

⁽²⁾ 1400 mm para la opción con protección de arco interno.

Ilustración 75 - Características geométricas de las celdas de servicios auxiliares.

Tabla de características			
Intensidades térmicas	Permanente (valor máximo)	1,2 x In	
Intensidades nominales (A)	Primario	25A a 2000	
	Secundario	1 y 5	
Posibilidad de conmutación en el secundario (A)	Desde	25-50	
	Hasta	1000-2000	
Datos del núcleo dependientes de la In. primario (máximo 3 núcleos)	N. medida	N. protección	
	Potencia (VA)	2,5 a 25	0,5 a 30
	Clase	0,2 a 1	5 ó 10
	Factor de sobreintensidad	FS5	P10 a P30
Dimensiones Tipo A (mm)	Diámetro interior	Min: 60 - Min: 205	
	Altura útil máxima	Min: 130 - Max: 225	
Dimensiones Tipo B (mm)	Altura	435	
	Anchura	420	
	Profundidad	190	
Temperatura ambiente de funcionamiento (°C)		-5 / +40	
Clase de aislamiento		E	

Ilustración 76 - Características de los transformadores de intensidad de las celdas.

	A	B	
Tensión normal (U_n)	> 3,6 hasta 36/38kV		
Tensión alterna normal en el arrollamiento primario	$1,2 \times U_n$		
Factor normal de tensión ($U_n/8h$)	1,9		
Tensión en el secundario	$100/\sqrt{3} V$		
	$110/\sqrt{3} V$		
	$120/\sqrt{3} V$		
	$100/3 V$		
	$110/3 V$		
	$120/3 V$		
Límite de intensidad térmica (arrollamiento de medida)	8A		
Intensidad de larga duración normal (8h)	5A		
Potencia disponible en función de la clase de precisión	Clase 0,2	20, 25 y 30 VA	25 VA
	Clase 0,5	30, 50 y 60 VA	50 VA
	Clase 1	50, 60 y 100 VA	100 VA

Ilustración 77 - Características de los transformadores de tensión de las celdas.