

Trabajo Fin de Máster

Diseño, análisis y optimización de una
instalación agrovoltaica en el sector vitivinícola

Design, analysis and optimization of an
agrovoltaic system in the wine sector

Autor

Javier Pintado de Blas

Director

Ángel Antonio Bayod Rújula

Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética

Escuela de Ingeniería y Arquitectura / Universidad de Zaragoza
2022-2023

RESUMEN

A lo largo de los últimos años, en un contexto derivado del aumento de instalaciones fotovoltaicas, que requieren de importantes extensiones de terreno está originando un conflicto por el uso de la tierra. Terrenos que previamente eran destinados para la producción agrícola han sido sustituidos para la implantación de estas instalaciones de producción eléctrica. El concepto de agrovoltaica (AV) que consiste en aprovechar el terreno tanto para la producción eléctrica como para el cultivo buscando maximizar las sinergias existentes entre ambos sectores, está adquiriendo cada vez mayor relevancia.

El presente Trabajo Fin de Máster estudia la implantación de la tecnología agrovoltaica en el sector vitivinícola a través del diseño de diferentes implantaciones agrovoltaicas, de 1,125 MW de potencia instalada para autoconsumo y venta de excedentes a la red, en un viñedo. Las implantaciones agrovoltaicas analizadas están constituidas por estructuras fijas con diferentes inclinaciones (30°, 45°, 60°, 75° y 90°) y varias configuraciones (1V, 2V y 3H) y una implantación constituida con seguidores solares N-S (1V).

Durante el desarrollo de la memoria se analizarán los efectos sobre el cultivo de la vid de las diferentes implantaciones, así como la producción de energía eléctrica de los sistemas AV, el ahorro generado en la bodega y los ingresos derivados de la venta de la energía eléctrica excedentaria. Al lo largo del proyecto se conocerán cuales, de todos los sistemas analizados, se adaptan mejor al cultivo y por lo tanto son los óptimos de cara a minimizar la disminución del rendimiento del cultivo y cuáles son los que más ahorros e ingresos generan y por lo tanto los óptimos en términos económicos.

Al final se llegará a la conclusión de que, aunque la instalación de los sistemas agrovoltaicos analizados conlleva una pérdida de la superficie del viñedo y, por lo tanto, del rendimiento de este. También se comprobará como estos sistemas pueden reducir considerablemente los costes eléctricos asociados a la producción del vino y generar importantes ingresos alternativos para la bodega.

ABSTRACT

Over the last few years, the increase in the number of photovoltaic installations, which require large areas of land, has led to a conflict over land use. Land that was previously used for agricultural production has been substituted for the implementation of these electricity production facilities. The concept of agrovoltaics (AV), which consists of using land for both electricity production and cultivation, seeking to maximise the synergies between the two sectors, is becoming increasingly important.

This Master's Thesis studies the implementation of agrovoltaic technology in the wine sector through the design of different agrovoltaic installations, with an installed power of 1.125 MW for self-consumption and sale of surplus to the grid, in a vineyard. The agrovoltaic installations analysed are made up of fixed structures with different inclinations (30°, 45°, 60°, 75° and 90°) and various configurations (1V, 2V and 3H) and an installation made up of N-S solar trackers (1V).

During the development of the report, the effects on the cultivation of the vine of the different implementations will be analysed, as well as the production of electrical energy from the AV systems, the savings generated in the winery and the income derived from the sale of surplus electrical energy. Throughout the project, it will be known which of all the systems analysed are best adapted to the crop and are therefore optimal in terms of minimising the reduction in crop yield and which are the ones that generate the most savings and income and are therefore optimal in economic terms.

In the end, it will be concluded that, although the installation of the agrovoltaic systems analysed leads to a loss of vineyard surface area and, therefore, of vineyard yield. It will also be shown that these systems can considerably reduce the electricity costs associated with wine production and generate significant alternative income for the winery.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	AGROVOLTAICA EN EL SECTOR VITIVINÍCOLA	2
1.1.1	Proyectos existentes.....	2
1.2	OBJETO Y ALCANCE DEL PRESENTE TRABAJO.....	4
2	EL VIÑEDO OBJETO DE ESTUDIO	5
2.1	EMPLAZAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS	5
2.2	CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BODEGA	6
3	EL SISTEMA AGROVOLTAICO.....	10
3.1	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	10
3.2	INFRAESTRUCTURAS DE CONEXIÓN A RED	11
3.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS COMUNES.....	12
3.3.1	Módulos fotovoltaicos	12
3.3.2	Inversores.....	13
3.3.3	Centro de Transformación	13
3.4	ESTRUCTURAS SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	16
4	EL SISTEMA DE CULTIVO.....	19
4.1	ORIENTACIÓN	19
4.2	SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y MARCO DE PLANTACIÓN	19
4.3	EFFECTOS DEL SOMBREADO SOBRE EL VIÑEDO	20
5	IMPLANTACIONES AGROVOLTAICAS DISEÑADAS.....	23
5.1	CRITERIOS DE DISEÑO	23
5.2	DESCRIPCIÓN DE LAS IMPLANTACIONES AGROVOLTAICAS.....	23
5.2.1	Implantaciones 2H90°-A	23
5.2.2	Implantaciones 2H90°-B	24
5.2.3	Implantación 1V75°.....	25
5.2.4	Implantación 2V75°.....	26
5.2.5	Implantación 3H75°	28
5.2.6	Implantación 1V60°.....	29

5.2.7	Implantación 2V60°	30
5.2.8	Implantación 3H60°	31
5.2.9	Implantación 1V45°	32
5.2.10	Implantación 2V45°	33
5.2.11	Implantación 3H45°	34
5.2.12	Implantación 1V30°	35
5.2.13	Implantación 2V30°	36
5.2.14	Implantación 3H30°	37
5.2.15	Implantación Seguidor N-S	38
5.3	ANÁLISIS DEL SOBREADO SOBRE EL CULTIVO	39
5.3.1	Sombreado generado por las estructuras fijas	39
5.3.2	Sombreado generado por los seguidores	41
6	ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA	42
6.1	SISTEMA AGROVOLTAICO	42
7	PRODUCCIÓN DEL CULTIVO	47
7.1	CÁLCULO DE LAS PRODUCCIONES	47
7.1.1	Producción de los viñedos sin agrovoltaica	47
7.1.2	Producción de los viñedos con implantaciones agrovoltaicas de estructura fija	48
7.1.3	Producción del viñedo con implantación agrovoltaica de seguidores N-S	52
7.2	ANÁLISIS DE LAS PRODUCCIONES DEL CULTIVO	53
8	ANÁLISIS ECONÓMICO	55
8.1	FLUJOS DE FONDO ANUALES	55
8.1.1	Ahorro económico en el coste de la electricidad	55
8.1.2	Ingresos derivados de la venta de energía a red	56
8.1.3	Disminución de los ingresos por la venta de vino	57
8.2	Flujos de fondos anuales	57
8.3	COSTE DE EJECUCIÓN DE LOS SISTEMAS AV	58
8.3.1	Coste de las infraestructuras de conexión a red	58

8.3.2	Coste de los sistemas Agrovoltáicos	59
8.4	EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN TIR, VAN Y RETORNO.....	60
9	CONCLUSIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA.....	65

1 INTRODUCCIÓN

En la última década el desarrollo de fuentes de energía renovables como medio para satisfacer la demanda mundial de energía y al mismo tiempo reemplazar los combustibles fósiles ha experimentado un crecimiento considerable. La Unión Europea (UE), a través del Pacto Verde Europeo, ha establecido como objetivo conseguir que Europa sea climáticamente neutra en el año 2050. Con el fin de que este objetivo sea vinculante, la Comisión europea propuso la Legislación Europea sobre el Clima, que establece el objetivo de una reducción neta de la emisión de gases de efecto invernadero de al menos un 55% hasta el año 2030, en comparación con los niveles de 1990 [1].

En España el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 define los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de penetración de energías renovables y de eficiencia energética. Estos objetivos son para el año 2030[]:

- Un 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- Un 42% de energías renovables sobre el consumo total de energía final.
- Un 39,5% de mejora de la eficiencia energética.
- Un 74% de energías renovables en la generación eléctrica.

En 2050 el objetivo es alcanzar la neutralidad climática con la reducción de al menos un 90% de nuestras emisiones brutas totales de GEI y alcanzar un sistema eléctrico 100% renovable [2] [3]. Para cumplir con estos objetivos se prevé necesaria una potencia instalada de tecnología solar fotovoltaica de más de 39 GW, de los 22,45 existentes en la actualidad [4].

No obstante, el fuerte desarrollo de la energía fotovoltaica cuyas instalaciones exigen una ocupación de terreno rústico relativamente extensiva por unidad de potencia eléctrica instalada, da lugar a un conflicto por el uso de la tierra para la producción de energía y alimentos. Este conflicto y el miedo a la pérdida de tierra cultivable en favor de una producción eléctrica más rentable ha provocado una disminución de la aceptación social de este tipo de instalaciones.

Con objeto de resolver este conflicto se ha desarrollado el concepto de agrovoltaica, que consiste en combinar la energía fotovoltaica con la agricultura, desarrollando instalaciones solares en terrenos agrícolas buscando la máxima sinergia entre la producción eléctrica y del cultivo.

1.1 AGROVOLTAICA EN EL SECTOR VITIVINÍCOLA

El cambio climático tiene impactos significativos en el cultivo de la uva, amenazando la estabilidad y calidad de la producción vinícola a nivel global. El aumento de las temperaturas y la variabilidad climática alteran los patrones tradicionales de crecimiento de las vides, influyendo en la maduración de las uvas y, por ende, en la calidad del vino. Eventos climáticos extremos que cada vez se producen en mayor medida, como olas de calor y sequías, pueden provocar estrés hídrico y daños en las plantas, afectando negativamente el rendimiento de los cultivos. Además, el cambio en las zonas climáticas óptimas para el cultivo de uvas plantea desafíos a la viabilidad económica de las regiones vinícolas tradicionales [5] [6] [7]. Para salvaguardar la sostenibilidad y la diversidad de la industria vinícola, se hace imperativo implementar prácticas agrícolas adaptativas y sostenibles que mitiguen los efectos adversos del cambio climático.

En este contexto los módulos fotovoltaicos pueden actuar como estructuras de sombreado proporcionando protección a las vides contra condiciones climáticas extremas como la radiación solar excesiva y las olas de calor, evitando quemaduras en las hojas que bloqueen la fotosíntesis o quemaduras en los racimos. Las estructuras fotovoltaicas también protegen la vid de vientos intensos que puedan causar la rotura de ramas y daños físicos que no solo puedan afectar a la producción, sino que también pueden tener repercusiones a largo plazo en el desarrollo de la planta. Por último, también pueden retrasar la maduración temprana, favorecida por una excesiva insolación, evitando efectos nocivos en la calidad y características organolépticas del vino como pérdida de acidez, incremento de los azúcares y pérdida de aromas y sabores. Este problema es especialmente importante en las variedades tempranas.

Por otro lado, la producción eléctrica permite a los viticultores importantes ahorros económicos en el consumo eléctrico y generar ingresos adicionales, vendiendo los excedentes eléctricos, para la operación vitivinícola. Además, también permite una diversificación de los ingresos, mejorando la situación de los viticultores frente a años malos tanto en la producción del cultivo como en el precio de venta del vino.

1.1.1 Proyectos existentes

Aunque el desarrollo de la agrovoltaica en el sector vitivinícola es reciente y se encuentra en fase de experimentación, a continuación, se presentan varios ejemplos de sistemas agrovoltaicos en un viñedo:

Iberdrola ha puesto en marcha en Guadamur, Toledo, una instalación solar de 40 kWp compuesta por seguidores solares 2V controlados por diferentes algoritmos de

inteligencia artificial. Estos, a su vez, lo harán determinando en cada momento la mejor posición para las placas solares encima de las viñas gracias a la información recogida por los sensores colocados en los viñedos, que registran datos relativos a la radiación solar, humedad de la tierra, condiciones de viento, o grosor del tronco de la vid, entre otros. Los seguidores solares crearán sombra y un microclima perfecto para la uva, protegiendo a la vez de lluvias y de un sol abrasador [8]



Ilustración 1: Proyecto Winesolar [8].

La empresa francesa Sun'Agri especializada en soluciones agrovoltaicas ha puesto en marcha varios proyectos de instalaciones agrovoltaicas. Un ejemplo es la instalación agrovoltaica ubicada en el suroeste de Francia en la zona vitivinícola de Piolenc, donde se instalaron 280 módulos fotovoltaicos colocados sobre una estructura a una altura de 4,2 metros. La potencia total de la instalación es de 84 kW, y los módulos pueden moverse gracias a un algoritmo capaz de determinar la inclinación ideal de los módulos según las necesidades de la viña [9].



Ilustración 2: Instalación agrovoltaica en altura sobre un viñedo[9].

Otro ejemplo de agrovoltaica en el sector vitivinícola lo encontramos en Somerset, California, donde se instalaron paneles solares verticales en un viñedo. la instalación está compuesta por 43 módulos de 450 W conectados a un microinversor y dos baterías [10].

1.2 OBJETO Y ALCANCE DEL PRESENTE TRABAJO

En el punto anterior hemos visto como en la actualidad se están desarrollando diferentes sistemas agrovoltaicos para el sector vitivinícola que minimizan la afección a la superficie de cultivo, aunque en todos los casos consisten en pequeñas instalaciones experimentales con dificultad para escalarlas a instalaciones de mayor potencia, lo que limita su aplicabilidad a gran escala.

El presente Trabajo Final de Máster pretende hacer de enlace entre estos sistemas, en investigación y los sistemas convencionales de producción fotovoltaica a gran escala. Para ello se diseñarán y analizarán diferentes implantaciones agrovoltaicas, en un viñedo, constituidas por sistemas de estructura fija con diferentes inclinaciones y configuraciones, así como, por seguidores fotovoltaicos N-S.

A lo largo del presente Trabajo se evaluarán los impactos de las distintas instalaciones en el cultivo de la vid, así como la generación de energía eléctrica por parte de los sistemas agrovoltaicos, los ahorros generados en la bodega y los ingresos derivados de la venta de la energía eléctrica excedentaria. Finalmente, en base a los resultados analizados, se podrá determinar cuáles de todos los sistemas analizados se adaptan de manera óptima al cultivo, minimizando así la disminución del rendimiento del mismo y los sistemas que generan mayores ahorros e ingresos, siendo considerados los óptimos desde una perspectiva económica.

En la ilustración inferior se puede comprobar como la orografía del viñedo es óptima para para una instalación fotovoltaica, tanto en su orientación Norte-Sur con una pendiente media del -1,23%, como en su orientación Este-Oeste, que presenta una pendiente media del -2,15 %.

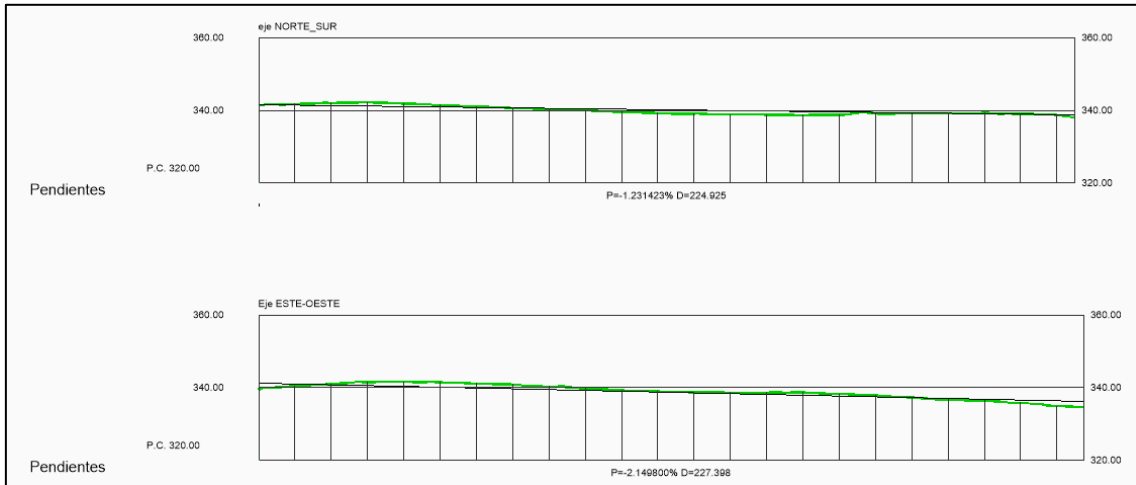


Ilustración 5: Perfiles topograficos viñedo

2.2 CONSUMO ELÉCTRICO DE LA BODEGA

Para analizar la demanda eléctrica derivada de la producción y venta de vino se han obtenido los consumos horarios reales de una bodega. Las tablas con el consumo horario se pueden consultar en el **Anexo D**. Ilustración 6 muestra el consumo eléctrico mensual de la bodega analizada:

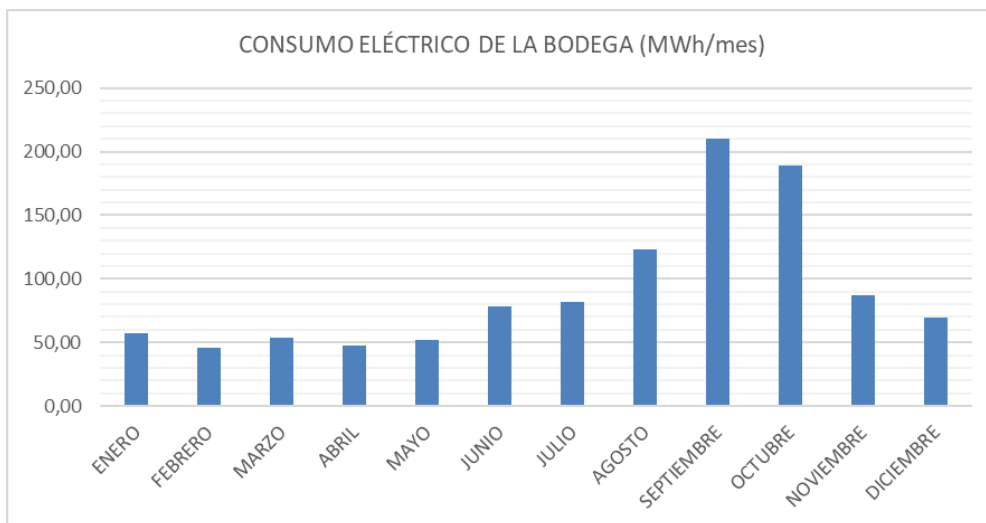


Ilustración 6: Consumo electrico mensual de la bodega.

En la Ilustración 6 se puede observar como el consumo eléctrico mensual está alrededor de los 50 MWh durante los meses de enero a mayo, mientras que los meses de junio, julio, noviembre y diciembre presenta unos consumos entre 70 y 85 MWh. Los meses de agosto a octubre son los que muestran un mayor consumo. En agosto se superan los 120 MWh, en septiembre se alcanzan los 210 MWh y en octubre es prácticamente de 190 MWh. Todo esto es coherente con el hecho de que los meses de mayor consumo coinciden con la época de la vendimia.

Del gráfico anterior podemos catalogar el consumo de la bodega en 3 grupos en función de su magnitud:

- Consumo Bajo: se produce durante los meses de enero a mayo.
- Consumo Medio: se produce en los meses de junio, julio, noviembre y diciembre.
- Consumo Alto: se produce durante los meses de agosto, septiembre y octubre.

A continuación, con objeto de caracterizar como se distribuye el consumo horario diario en los meses de consumo bajo, medio y alto, se presentan las siguientes gráficas que muestran la demanda eléctrica de la bodega de un día de marzo para el grupo de consumo bajo, del mes de julio para el grupo de consumo medio y del mes de septiembre para el grupo de consumo alto.

Distribución horaria del consumo diario en marzo (Consumo Bajo)

En marzo la energía horaria consumida se encuentra aproximadamente entre 40 y 140 kWh (existiendo horas puntuales con consumos fuera de este intervalo). Las horas donde se produce el mayor consumo coinciden con las horas centrales del día, no obstante, también se producen picos de consumo aislados al inicio y al final del día. Es reseñable la existencia de una significativa variación del consumo eléctrico entre mismas horas de diferentes días y aunque como se ha mencionado anteriormente el consumo más elevado tiende a darse en las horas centrales no se produce a las mismas horas entre los diferentes días del mes. Finalmente, la bodega presenta un consumo mínimo constante de aproximadamente 40 kWh a lo largo de todo el mes.

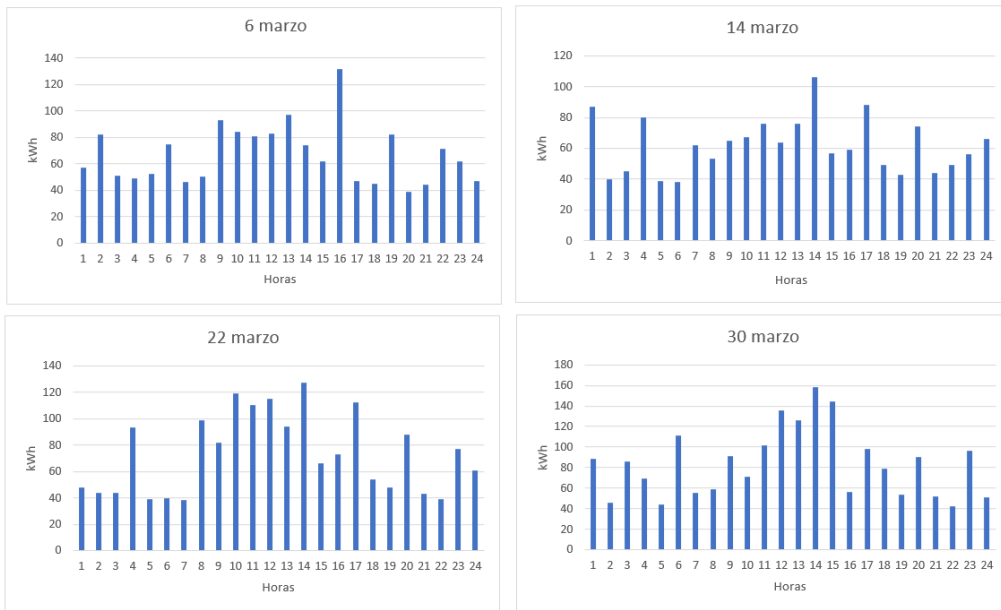


Ilustración 7: Consumo horario de varios días de marzo.

Distribución horaria del consumo diario en julio (Consumo Medio)

Como se puede observar en los gráficos inferiores los consumos en el mes de julio, un mes de consumo medio, se sitúan entre los 80 y los 160 kWh (existiendo horas puntuales con consumos fuera de este intervalo). En este mes, se puede observar como el mayor consumo se produce durante la tarde, aunque la gran variabilidad que muestran los consumos horarios no permite establecer una tendencia clara, dándose periodos de consumos elevados en diferentes franjas horarios en función del día analizado. Las horas donde se presenta un menor consumo coinciden en las primeras horas de la mañana (entre la 6ª y 9ª horas), manteniéndose entre los 80-100 kWh.

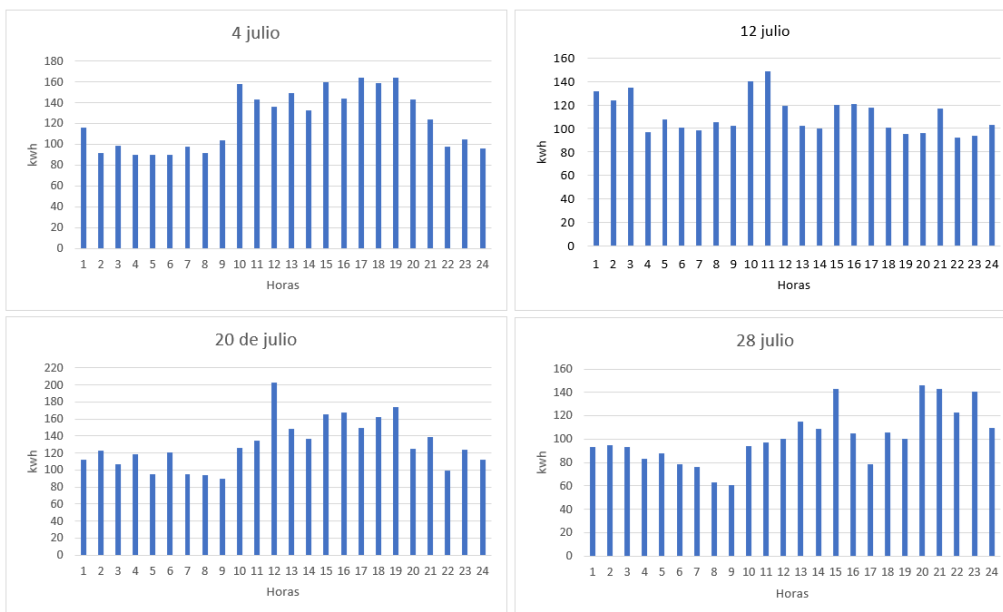


Ilustración 8: Consumo horario de varios días de julio.

Distribución horaria del consumo diario en septiembre (Consumo Alto)

Como se puede observar en las gráficas los consumos eléctricos horarios en septiembre se encuentra entre los 250 y 400 kWh (existiendo algunas horas con consumos fuera de este intervalo), siendo septiembre el mes que presenta un consumo eléctrico más elevado. De forma genérica el mayor consumo se produce en las horas centrales del día y el mínimo a primeras horas de la mañana, sin que exista a lo largo del día grandes variaciones en el consumo eléctrico. El consumo mínimo durante este mes se mantiene alrededor de los 300 kWh. Cabe señalar que el día 5 de septiembre presenta consumos menores que caracterizan la primera semana de septiembre.

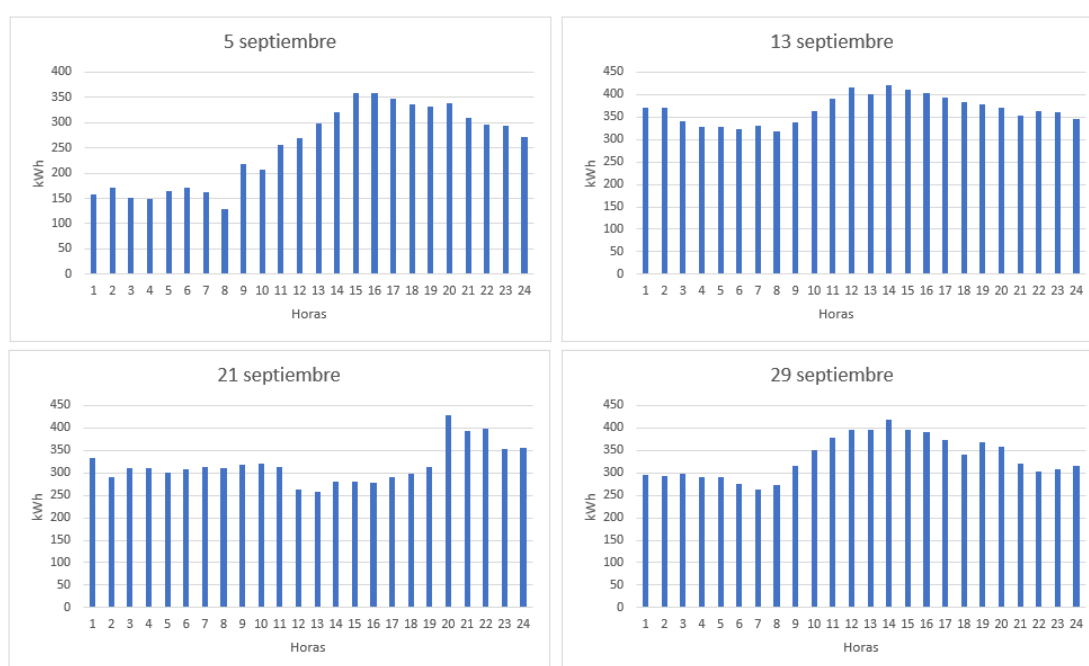


Ilustración 9: Consumo horario de varios días de septiembre.

3 EL SISTEMA AGROVOLTAICO

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Las infraestructuras del sistema agrovoltaico se componen de dos partes: un generador fotovoltaico donde se recoge y se transforma la energía de la radiación solar en electricidad, mediante módulos fotovoltaicos, y una parte de transformación de esta energía eléctrica de corriente continua a corriente alterna que realizan los inversores y el transformador que conectará con un centro de control /gestión donde una parte de la energía se utilizará para cubrir los consumos y el excedente se verterá a la red de distribución de media tensión de la zona.

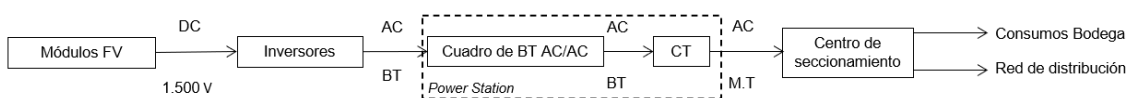


Ilustración 10: Esquema general de la instalación.

Para que la instalación sea capaz de aportar la energía reactiva marcada en el Código de Red (Orden TED/749/2020) y en la NTS (para esta instalación – tipo B - 30% de potencia reactiva inductiva y 30 % de potencia reactiva capacitiva), se instala un 12,5 % más de potencia en inversores (1,125 MW) que la capacidad de acceso (1 MW).

En función de la tipología de estructura a utilizar se han diseñado dos configuraciones para los sistemas agrovoltaicos:

Configuración A

La instalación está constituida por 2380 módulos fotovoltaicos bifaciales de silicio monocristalino de 550 Wp (1.309 kWp), agrupados en 70 strings de 34 módulos en serie, 9 inversores fotovoltaicos de 125 kW a 25°C (1,125 MW), agrupados en un cuadro de baja tensión y que conectará con un transformador de 1 MVA. Ya en media tensión se evacuará la energía desde las celdas del centro de transformación al centro de seccionamiento, donde se distribuirá la energía generada para cubrir los consumos existentes en la bodega y verter los excedentes a la red de media tensión.

Esta configuración será la utilizada por los sistemas constituidos por estructuras 2V, 1V y los seguidores N-S.

Configuración B

La instalación está constituida por 2376 módulos fotovoltaicos bifaciales de silicio monocristalino de 550 Wp (1.307 kWp), agrupados en 72 strings de 33 módulos en serie, 8 inversores fotovoltaicos de 125 kW a 25°C (1,125 MW), agrupados en un cuadro de

baja tensión y que conectará con un transformador de 1 MVA. Ya en media tensión se evacuará la energía desde las celdas del centro de transformación al centro de seccionamiento, donde se distribuirá la energía generada para cubrir los consumos existentes en la bodega y verter los excedentes a la red de media tensión.

Esta configuración será la utilizada por los sistemas constituidos por estructuras 3H.

Los cálculos eléctricos de las configuraciones diseñadas se muestran en el **Anexo B**.

3.2 INFRAESTRUCTURAS DE CONEXIÓN A RED

Las infraestructuras necesarias para la conexión a la red de distribución y al consumo son las siguientes:

- Centro de seccionamiento.
- Línea eléctrica MT de entrada y salida en la red de media tensión que da servicio a la bodega.
-

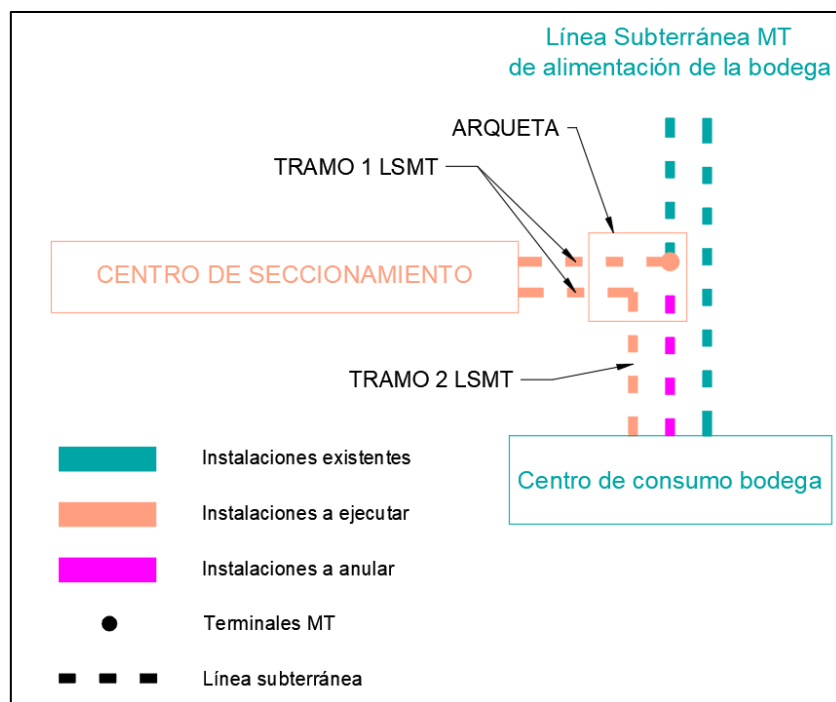


Ilustración 11: Infraestructuras de conexión a red

Para conectar el sistema agrovoltaico a la red de distribución y de alimentación de la bodega, un tramo de la línea de MT que da servicio a la bodega conservará su trazado, mientras que otro pasará a realizar entrada seccionamiento. Para cerrar el anillo de la red de distribución, se tenderá un nuevo circuito desde el centro de transformación y seccionamiento hasta el centro de consumo de la bodega.

La instalación generadora dispondrá de un sistema de control, coordinado para todos los módulos de generación que la integren, que impida que la potencia activa que éste pueda inyectar a la red supere su capacidad de acceso. Este control se realizará mediante el Power Plant Controller (PPC), ubicado en el centro de seccionamiento.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS COMUNES

En el presente apartado se van a describir los equipos que son comunes a todas las implantaciones analizadas

3.3.1 Módulos fotovoltaicos

Para la instalación propuesta se han considerado módulos fotovoltaicos bifaciales de silicio monocristalino de 550 Wp de la marca Trina Solar modelo Vertex [11] cuyas características técnicas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Características módulos fotovoltaicos.

Trina TSM-DEG19RC.20		
Pmax	550	W
Vmpp	31,8	V
Impp	17,29	A
Voc	38,1	V
Isc	18,39	A
Eficiencia	21	%
V max sistema	1500	V _{DC}
Coeficiente de T para Pmpp	-0,340	%/°C
Coeficiente de T para Voc	-0,250	%/°C
Coeficiente de T para Isc	0,040	%/°C
Largo	2.384	mm
Ancho	1.096	mm
Alto	35	mm
Área	2,613	m ²
Tamaño de conductor	12 / 4	AWG /mm ²
Peso del módulo	32,6	kg

Como se puede observar en la siguiente ilustración el fabricante asegura un rendimiento del 85% de su potencia nominal a los 30 años de vida útil.

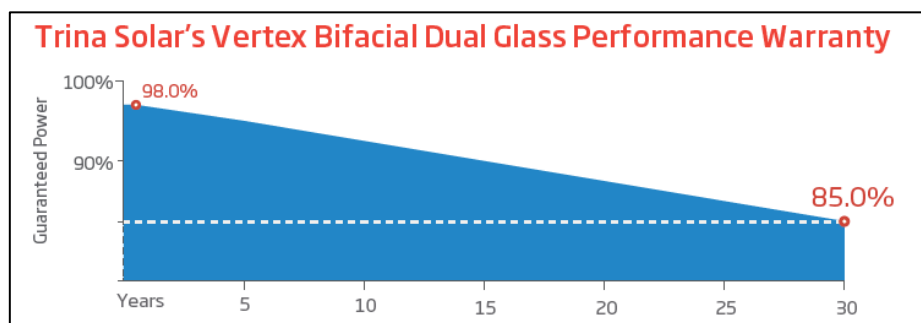


Ilustración 12: Rendimiento módulos fotovoltaicos.

3.3.2 Inversores

Los inversores se encargan de transformar la tensión de corriente continua de los módulos fotovoltaicos en tensión de corriente alterna.

Para la instalación propuesta se utilizará el inversor trifásico modelo SG125HX de la marca Sungrow [12].

Este inversor permite hasta 12 (2 x 6) entradas de corriente continua en paralelo a las que se conectan las ramas. Los fabricantes dan varias potencias para diferentes temperaturas ambiente, siendo la máxima potencia del inversor aquella asociada a la menor temperatura ambiente, en este caso 25°C.

Tabla 3: Características inversores.

Modelo		SG125HX
Salida	Potencia activa máxima a 25°C (kW)	125
	Potencia Nominal a 40°C (kW)	125
	Potencia Nominal a 50°C (kW)	113,6
	Máxima corriente de salida (A)	90,2
	Tensión (V_{ac})	800
	Frecuencia (Hz)	50
	Factor de potencia	1
Entrada	Mínima Tensión M_{pp} (V_{dc})	860
	Máxima Tensión M_{pp} (V_{dc})	1.300
	Máxima tensión (V_{dc})	1.500
	Máxima corriente por MPPT (A)	30
	Máxima corriente cortocircuito por MPPT (A)	50

3.3.3 Centro de Transformación

Se propone utilizar una Power Station, que es una solución integrada que incluye cuadro de BT, transformador y la aparata de media tensión. Es una solución Plug & Play

que funciona con voltajes de hasta 1.500 V DC y contiene todo el equipamiento necesario para la transformación de la energía generada.

Tabla 4: Características Centro de transformación.

Designación	Descripción
Cuadro de BT (CBT)	Los CBT reciben los cables de entrada de los inversores y los conectan al transformador situado en el CT.
Transformador de MT	Convierte el voltaje de salida del inversor al nivel de voltaje de la red de MT.
Compartimiento de MT	Aparamiento de MT: Conecta y desconecta el transformador de MT a la red de MT.
	Transformador de BT: El transformador de BT provee el voltaje para los equipos auxiliares del CT.
	Estación sub-distribuidora: Contiene los fusibles e interruptores para el suministro de voltaje.
Plataforma de Servicio	Plataforma elevada que facilita la operación de los dispositivos.

3.3.3.1 Cuadro distribución BT

Se ha proyectado utilizar el cuadro de distribución en baja tensión de la marca Pronutec cuya finalidad es agrupar los cables que salen de los inversores y conectar con el transformador [13].

Tabla 5: Características cuadro distribución BT.

CBT Metálico de exterior salida trasera				
Características eléctricas	Tensión asignada de empleo	Ue (V)	800	
	Intensidad asignada de empleo	Ie (A)	1.250	
	Corriente asignada de corta duración admisible 1 segundo	(kA)	20	
	Entradas procedentes de inversores		12	
	Sección de cables de acometida (entradas de inversores)		Máx. 185 mm ²	
	Nº y sección de cables de salida al transformador	mm ²	Máx. 4 x 240 mm ²	
	Tensión soportada a frecuencia industrial	Fase - Fase	kV	2,5
		Fase - Masa		10
Tensión soportada a impulso tipo rayo	Fase - Masa	kV	8	
Grado de protección	IP		IP55	
	IK		IK10	

3.3.3.2 Transformador

El transformador elevará la tensión de 800 V a la tensión de los circuitos de media tensión de 15 kV (he supuesto este nivel de tensión de la red de MT de la zona). El transformador proyectado de la empresa Ormazabal es de tipo seco / aceite con conexión Dyn11 con bajos requisitos de mantenimiento y está optimizado para el mejor funcionamiento durante toda la vida útil [14].

Tabla 6: Características transformador.

Características técnicas transformador		
Características eléctricas		
Potencia asignada	kVA	1.000
Tensión asignada	Ur	
Primaria	kV	15
Secundaria	V	800
Grupo de conexión		Dyn11
Pérdidas en vacío (P_0)	W	1.800
Pérdidas en vacío (P_k)	W	11.000
Impedancia de cortocircuito a 120 ° C	%	6
Dimensiones		
Largo	mm	1.640
Ancho		1.000
Alto con ruedas		2.146
Peso		
Peso total	kg	3.050

La conexión eléctrica entre el transformador y las celdas de MT será con cables de 12/20 kV del tipo RHZ1, unipolares, con conductores de sección y material 3x1x240 Cu

La conexión eléctrica entre el cuadro de baja tensión y el transformador de potencia será con cables de 0,6/1 kV del tipo XZ1, unipolares, con conductores de sección y material 3x(3x1x240) Cu.

3.3.3.3 Celdas

La aparamenta de media tensión incluye todo lo necesario para la conexión segura y automática a la red (interruptor, fusible, relés, protecciones, celdas...). Prácticamente no requiere de mantenimiento y permite una configuración versátil. Las celdas son de SF₆ aisladas herméticamente. La power station está compuesta por las siguientes celdas de la empresa Ormazabal [15]:

- Una celda de salida con interruptor/seccionador en carga y seccionador de puesta a tierra.
- Celda/s de entrada con interruptor/seccionador en carga y seccionador de puesta a tierra.

- Una celda de transformador con interruptor-fusible combinado de salida y seccionador de puesta a tierra.

3.3.3.4 Controlador instalación agrovoltaica

El controlador de planta fotovoltaica, PPC (de las siglas en inglés Power Plant Controller) se encuentra ubicado al lado de la celda de medida y permite:

- Gestionar la energía activa y reactiva para emparejar generación y consumo
- Regular el factor de potencia en el punto de acoplamiento común.
- Regular el voltaje en el punto de acoplamiento común.
- Inyección de corriente reactiva durante caídas de voltaje o inmediatamente después de éstos.
- Inyectar / absorber energía reactiva por la noche
- Controlar la potencia activa, regulación de frecuencia, control en rampa...
- Controlar ocasionalmente equipos adicionales como bancos de condensadores bobinas o baterías.

Cada inversor es accesible a través de internet introduciendo su dirección IP. En el caso que no hubiera conexión a internet, se puede acceder a los datos del inversor mediante un cable de Ethernet. El servidor web, permite tanto el control remoto como la monitorización de la instalación.

- Control:
 - o Iniciar o parar el inversor
 - o Definir el factor de potencia
 - o Definir un máximo de potencia activa.
- Monitorización:
 - o Parámetros eléctricos
 - o Parámetros térmicos
 - o Avisos y alarmas
 - o Energía activa y reactiva generada

3.4 ESTRUCTURAS SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Con objeto de determinar la implantación agrovoltaica óptima para instalar en un viñedo se analizarán 5 inclinaciones diferentes de estructuras fijas (90°, 75°, 60°, 45° y 30°) en tres configuraciones diferentes 1V, 2V y 3H y el caso de una instalación de seguidores solares N-S en configuración 1V. Las diferentes inclinaciones y configuraciones

afectaran tanto a la producción fotovoltaica como a la producción del cultivo. En la Tabla 6 se muestran las estructuras analizadas:

Tabla 7: Estructuras analizadas.

TIPO DE ESTRUCTURA	INCLINACIÓN	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN	
Fija	90°	2H	Estructura fija vertical constituida por dos módulos fotovoltaicos en posición horizontal	
	75°	1V	Estructura fija cuasi-vertical con 75° de inclinación constituida por un módulo en posición vertical	
		2V	Estructura fija cuasi-vertical con 75° de inclinación constituida por dos módulos en posición vertical	
		3H	Estructura fija cuasi-vertical con 75° de inclinación constituida por tres módulos en posición horizontal	
	60°	1V	Estructura fija con 60° de inclinación constituida por un módulo en posición vertical	
		2V	Estructura fija con 60° de inclinación constituida por dos módulos en posición vertical	
		3H	Estructura fija con 60° de inclinación constituida por tres módulos en posición horizontal	
	45°	1V	Estructura fija con 45° de inclinación constituida por un módulo en posición vertical	
		2V	Estructura fija con 45° de inclinación constituida por dos módulos en posición vertical	
		3H	Estructura fija con 45° de inclinación constituida por tres módulos en posición horizontal	
	30°	1V	Estructura fija con 45° de inclinación constituida por un módulo en posición vertical	
		2V	Estructura fija con 30° de inclinación constituida por dos módulos en posición vertical	
		3H	Estructura fija con 30° de inclinación constituida por tres módulos en posición horizontal	
	Seguimiento	+/- 60°	1V	Seguidor solar con un ángulo de seguimiento de +60°/-60° constituida por un módulo en posición vertical

Salvo en el caso de las estructuras verticales constituidas por unidades de dos módulos todas las inclinaciones con configuraciones 1V y 2V los módulos irán agrupados sobre mesas o estructuras de 34 y 68 paneles (configuración de strings A), mientras que en las distribuciones de módulos 3H irán sobre estructuras o mesas de 33 y 66 paneles (configuración de strings B).

Todas las distancias entre estructuras se han calculado para garantizar al menos cuatro horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Por otro lado, la distancia mínima entre estructuras no podrá ser inferior a 6 metros debido a que las estructuras fotovoltaicas están integradas en el viñedo y por lo tanto existirá una hilera de cultivo como mínimo entre cada estructura fotovoltaica. La distancia entre hileras de conducción en espaldera se ha diseñado de 3 metros como mínimo. En la Tabla 7 se

muestran las distancias entre filas de estructuras de todas las configuraciones analizadas:

Tabla 8: Resumen distancias entre estructuras

Configuración	Distancia entre estructuras/ pitch (m)
2H90	6,8 / 6*
1V75	6,9
2V75	13,8
3H75	9,6
1V60	6,2
2V60	12,4
3H60	8,65
1V45	6
2V45	10,1
3H45	7,06
1V30	6
2V30	7,2
3H30	6
Seguidor N-S	8 (pitch)

*Debido a que la estructura vertical presenta una gran integración con un viñedo en espaldera resulta interesante analizarla también con una distancia de 6 metros entre estructuras que permitiría (siempre que el viñedo este orientado al Sur) simplemente sustituir una hilera de vides por una hilera de estructuras fotovoltaicas sin necesidad de modificar la totalidad del viñedo.

4 EL SISTEMA DE CULTIVO

A continuación, se van a describir las principales características del sistema de cultivo del viñedo, objeto del presente Trabajo de Fin de Máster. En el **Anexo A** se desarrollan los conceptos básicos sobre el cultivo de la vid.

4.1 ORIENTACIÓN

Dado que se están analizando el comportamiento de los sistemas agrovoltaicos de estructura fija y con seguimiento, el viñedo presentará una orientación de las hileras de las vides E-O para las implantaciones de estructura fija y N-S en el caso de la implantación con seguidor fotovoltaico.

4.2 SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y MARCO DE PLANTACIÓN

El sistema de conducción de la viña será en espaldera. Este sistema se utiliza para conducir la vid mediante un empalizado que sirve de guía a la vegetación para que crezca verticalmente y se dispone en líneas o calles. La espaldera tiene una altura total de 1,5 metros y está constituida por tres alambres de conducción equidistantes. El primer alambre conducción se sitúa a 0,5 metros de altura el según a 1 metro y el tercero a 1,5. Separación entre vides de una misma calle o hilera es de 1,2 metros.

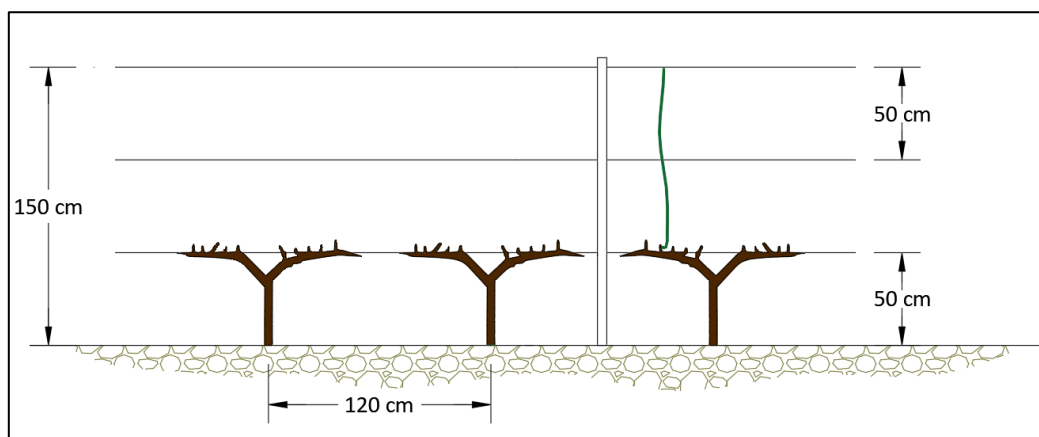


Ilustración 13: Características del sistema de cultivo en espaldera.

La disposición de plantación es rectangular situándose las cepas en los vértices del rectángulo, siendo la separación entre líneas o hileras mayor que la separación entre plantas.

El marco de plantación es la distancia o separación existente entre las plantas. El marco de plantación del viñedo es de 3 m (distancia entre hileras) x 1,2 m. (separación de las cepas dentro de la hilera). No obstante, la distancia entre hileras será variable en función de las diferentes implantaciones agrovoltaicas analizadas ya que la superficie de cultivo

se verá afectada por las estructuras fotovoltaicas, pero nunca podrá ser inferior con objeto de garantizar la mecanización del cultivo [16].

4.3 EFECTOS DEL SOMBREADO SOBRE EL VIÑEDO

Es un hecho conocido que el cambio climático, más allá de un aumento de la temperatura, tiene un gran impacto en la recurrencia de fenómenos extremos, en particular en el aumento de la duración, frecuencia e intensidad de las olas de calor.

Las altas temperaturas pueden causar daños directos a la vid quemándolas y deshidratándolas. Este fenómeno es especialmente problemático durante las etapas críticas del desarrollo de la uva como el envero y la maduración. Por otro lado, las olas de calor a menudo están asociadas con condiciones secas, lo que puede llevar a una disminución en la disponibilidad de agua para las plantas. El estrés hídrico resultante puede afectar el crecimiento de las vides y contribuir a la pérdida de rendimiento de la cosecha. Las altas temperaturas también afectan al proceso de maduración de las uvas acelerándolo, modificando los contenidos en azúcares, acidez, y compuestos fenólicos. Estos cambios afectan sobre todo a las variedades tempranas, que ven disminuida considerablemente su acidez antes de que la maduración haya terminado [5] [6] [7].

Por lo tanto, el sombreado generado por las infraestructuras fotovoltaicas es una herramienta útil para reducir el estrés hídrico y luchar contra los golpes de sol, el escaldado y el amarronamiento de las uvas, además de protegerlas contra vientos perjudiciales que provoquen daños en los brotes, roturas de ramas y pérdida de flores y frutos.

No obstante, el diseño de las implantaciones de estructuras fotovoltaicas en viñedos debe realizarse considerando cuidadosamente las necesidades específicas del cultivo ya que un exceso de sombreado podría perjudicar la producción y calidad del vino. Por lo tanto, es importante asegurar un nivel de sombreado que no repercuta negativamente en el proceso de fotosíntesis y, por ende, en el desarrollo de las uvas.

Un experimento en 2012 realizado por la empresa francesa Sun`Agri demostró que una sombra fija del 30% puede enfriar significativamente la temperatura del suelo durante el día y reducir la evapotranspiración (y por lo tanto las necesidades hídricas) entre un 20 y un 30%, no obstante, para sombreados superiores al 40% si se apreció una pérdida de rendimiento. Esta empresa en 2018 instaló en una finca vinícola del Pirineo Oriental un sistema fotovoltaico dinámico en altura que permitía inclinar los paneles fotovoltaicos en función de las necesidades de la vid. Los resultados demostraron que, durante los períodos de insolación, la sombra de los paneles evita así quemaduras en las hojas, lo

que evita bloqueos de la fotosíntesis, así como quemaduras en los racimos, lo que mantiene más aromas y precursores de aromas [9].

No obstante, es reseñable la falta de estudios en campo que determinen el efecto del sombreado de una estructura fija sobre la viña, más allá del citado anteriormente, la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo sobre los efectos del sombreado de la viña se han realizado mediante telas de sombreado.

En este contexto, dentro del proyecto VITISAD, se realizó un ensayo en un viñedo ubicado en Cenicero (La Rioja) mediante una red de sombreado del 50% y del 70% con protección de radiación ultravioleta y colocadas en la cara oeste de la espaldera con orientación N-S (+35°). Los resultados obtenidos mostraron que las mallas de sombreado redujeron la temperatura de los racimos de uva y evitaron que se produjeran daños en los racimos por golpes de sol. En cuanto a los parámetros productivos los resultados no mostraron diferencias significativas en el rendimiento unitario (kg/cepa), en el número de racimos /cepa ni en el peso de los racimos, si bien tanto las vides sombreadas con la malla de 50% de sombreado como con la de 70% presentan valores ligeramente superiores respecto a las vides sin sombreado. En cuanto a la calidad del vino producido, los vinos procedentes de los tratamientos con malla mostraron un mayor contenido en antocianos y una mejor valoración organoléptica respecto al vino producido sin sombreado [17]. Hay que señalar que el sombreado generado sobre la cara oeste de la viña del 50% y del 70% correspondería con una reducción de la radiación solar sobre la vid, en base a las características y orientación de la viña, de un 20% y 30% respectivamente.

Por otro lado, en un estudio llevado a cabo en Australia donde se evaluaron los efectos de cubrir con una maya de sombreado del 70% la totalidad de la vid mostró una reducción del en la masa de los racimos del 35% [18]. En esta línea otro estudio llevado a cabo en la provincia de Xinjiang (China) sobre un viñedo de Cabernet-Sauvignon, donde se sombreada de forma parcial (no cubría la altura de la espaldera) las vides con una tela de 75% de sombreado se observó una reducción del rendimiento del 11% [19]. Finalmente, un estudio realizado sobre diferentes cultivos concluyó la presencia de paneles fotovoltaicos que proporcionan hasta el 25% de sombra no parece tener efectos significativos sobre el crecimiento y la calidad de las plantas, aunque si se notaron efectos negativos cuando el sombrado superaba el 50% [20].

En conclusión, existe una falta de estudios y experimentos en campo que permitan determinar con cierta precisión los efectos del sombreado de la vid mediante estructuras fijas. No obstante, los resultados de las investigaciones analizadas coinciden en señalar que una reducción de hasta el 30% de la radiación solar directa que recibe la viña, no

provoca una pérdida de rendimiento del cultivo ni disminuye la calidad del vino, a la vez que protegen a la planta de temperaturas extremas y de daños en la uva por el exceso de exposición solar.

5 IMPLANTACIONES AGROVOLTAICAS DISEÑADAS

5.1 CRITERIOS DE DISEÑO

A continuación, se presentan los criterios de diseño seguidos para el diseño de las diferentes implantaciones agrovoltaicas analizadas en el presente Trabajo de Fin de Máster:

- La distancia entre estructuras será la suficiente para garantizar 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno (salvo en el caso de la estructura vertical).
- La distancia entre hileras no podrá ser inferior a 3 metros para permitir la mecanización del cultivo.
- Cuando compartan una misma calle una hilera de vides y las estructuras fotovoltaicas la separación mínima entre ellas será de 1 metro.
- Los módulos fotovoltaicos están a 0,5 metros del suelo.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LAS IMPLANTACIONES AGROVOLTAICAS

5.2.1 Implantaciones 2H90°-A

La distancia entre estructuras de esta implantación es la calculada para garantizar 4 horas de sol en torno al medio día del solsticio de invierno (6,8 m). En la Tabla 8 se muestran los principales parámetros que definen la implantación:

Tabla 9: Parámetros diseño implantación 2H90° - A

Parámetros Diseño Implantación 2H90 - A	
Distancia entre estructuras	6,8 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3,8 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre hileras de espaldera zona agrovoltaica	6,8 m
Distancia entre hileras de espaldera resto del cultivo	3 m
Ángulo sombreado estructura - espaldera	30,97°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,56°

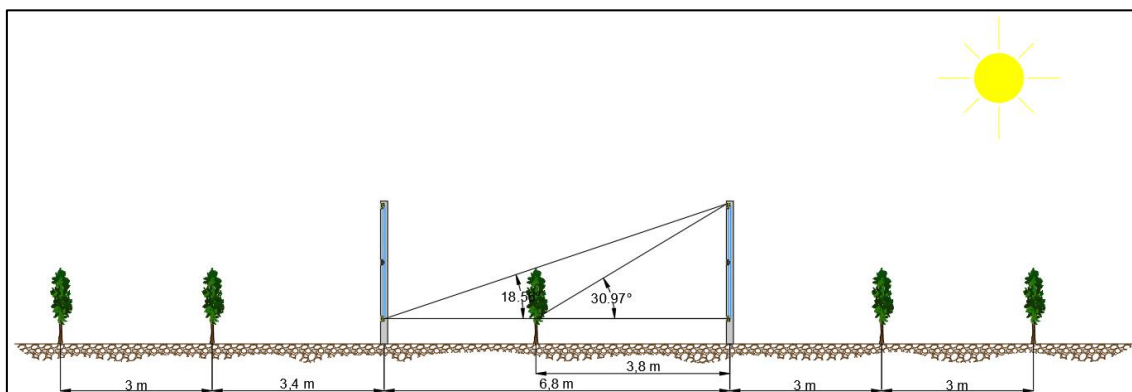


Ilustración 14: Perfil implantación 2H90° - A.

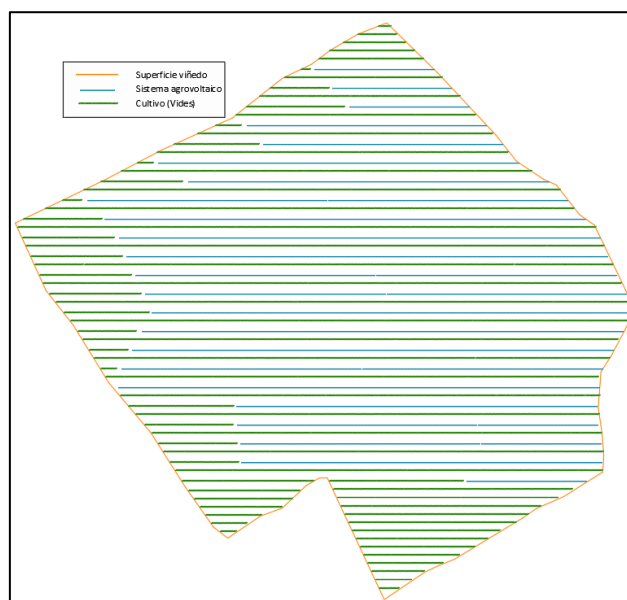


Ilustración 15: Implantación 2H90° - A.

5.2.2 Implantaciones 2H90°-B

La distancia entre filas de módulos fotovoltaicos es de 6 m. Dado que la distancia por defecto entre las hileras de vides es de 3 metros esta distancia entre estructuras permite integrarlas perfectamente en el viñedo sin tener que modificar toda la superficie de cultivo. En la Tabla 9 se especifican las principales características geométricas que definen la implantación:

Tabla 10: Parámetros diseño implantación 2H90° - B

Parámetros Diseño Implantación 2H90 - B	
Distancia entre estructuras	6 m
Distancia entre estructura y espaldera	3 m
Distancia entre hileras de espaldera zona agrovoltaica	6 m
Distancia entre hileras de espaldera resto del cultivo	3 m
Ángulo sombreado estructura - espaldera	37,6°
Ángulo sombreado estructura - estructura	20,96°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

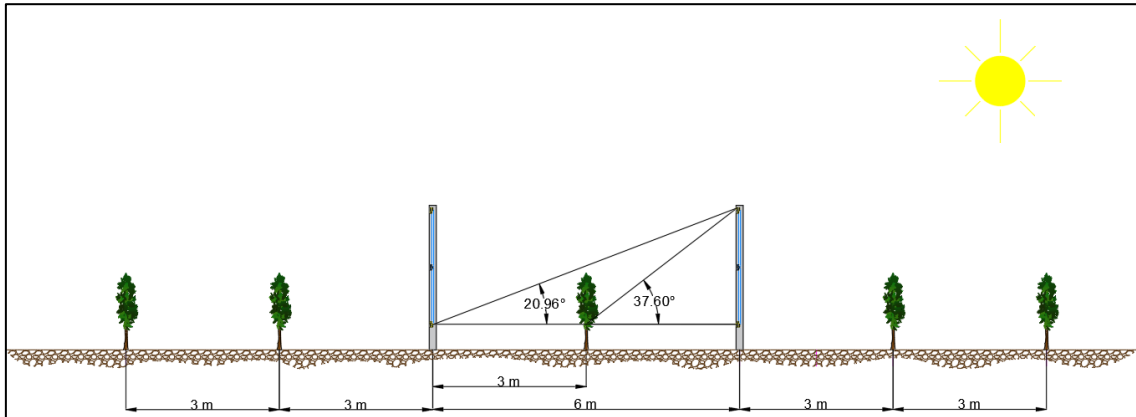


Ilustración 16: Perfil implantación 2H90° - B

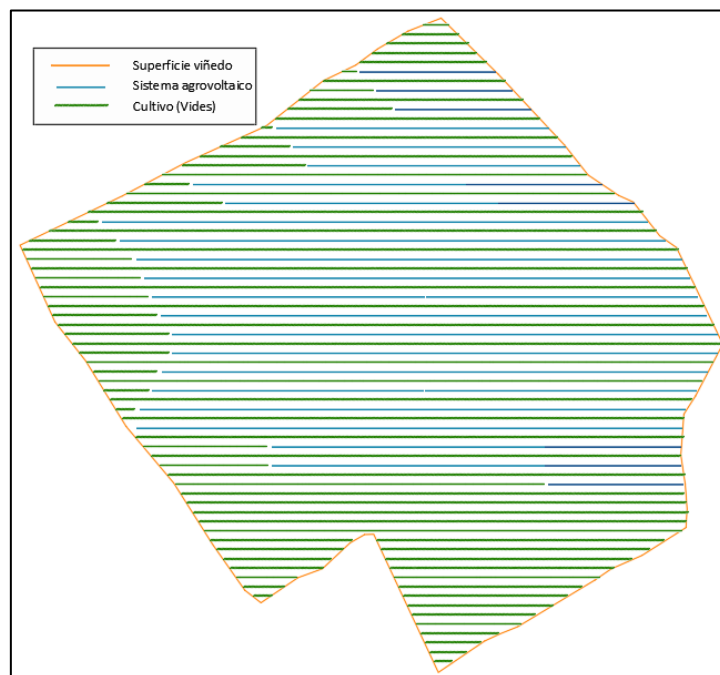


Ilustración 17: Implantación 2H90° - B.

5.2.3 Implantación 1V75°

La implantación 1V75° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan un módulo en posición vertical con una inclinación de 75°. En la Tabla 10, se presentan las características que definen la instalación:

Tabla 11: Parámetros diseño implantación 1V75°

Parámetros Diseño Implantación 1V75°	
Distancia entre estructuras	6,9 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3,9
Distancia entre hileras de espaldera zona agrovoltaica	7,55 m
Distancia entre hileras de espaldera resto del cultivo	3 m
Ángulo sombreado estructura - espaldera	30,54°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,4°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

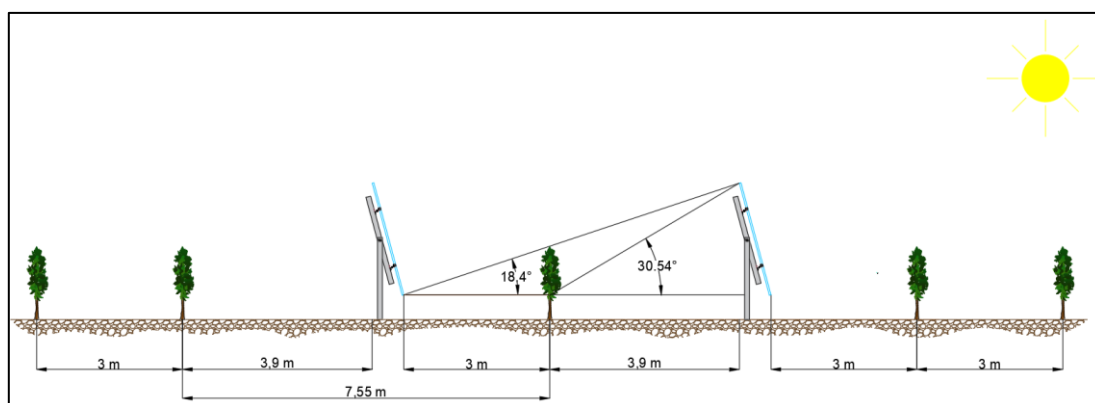


Ilustración 18: Perfil implantación 1V75°

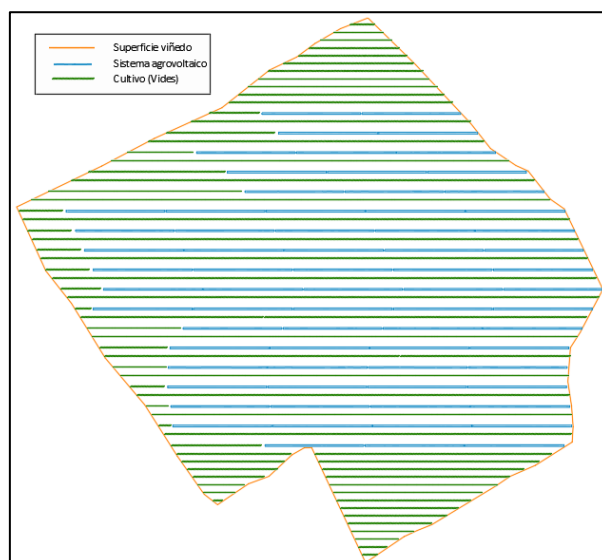


Ilustración 19: Implantación 1V75°

5.2.4 Implantación 2V75°

La implantación 2V75° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan dos módulos en posición vertical con una inclinación de 75°. La Tabla 11 describe las principales características de la implantación:

Tabla 12: Parámetros diseño implantación 2V75°

Parámetros Diseño Implantación 2V75°	
Distancia entre estructuras	13,8 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	4,8 m
Distancia entre hileras de espaldera (zona agrovoltaica)	3 m
Distancia entre hileras de espaldera (resto del cultivo)	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera 1	43,97°
Ángulo sombreado estructura – espaldera 2	30,7°
Ángulo sombreado estructura – espaldera 3	23,21°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,52°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

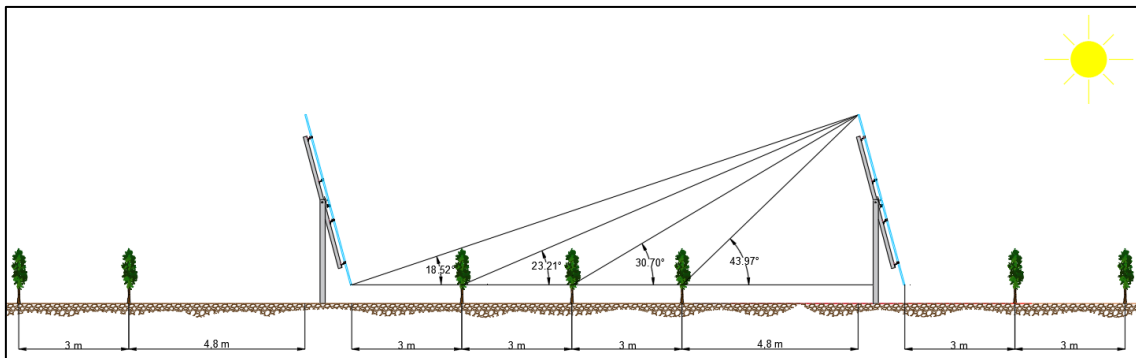


Ilustración 20: Perfil implantación 2V75°

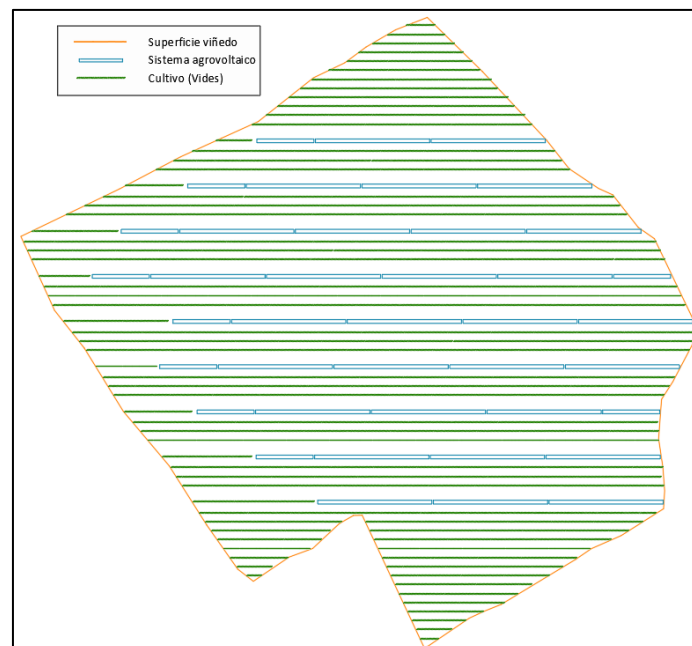


Ilustración 21: Implantación 2V75°

5.2.5 Implantación 3H75°

La implantación 3H75° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan tres módulos en posición horizontal con una inclinación de 75°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 13: Parámetros diseño implantación 3H75°

Parámetros Diseño Implantación 3H75°	
Distancia entre estructuras	9,6 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3,6 m
Distancia entre hileras de espaldera (zona agrovoltaica)	3 m
Distancia entre hileras de espaldera (resto del cultivo)	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera 1	41,86°
Ángulo sombreado estructura – espaldera 2	26,05°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,53°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

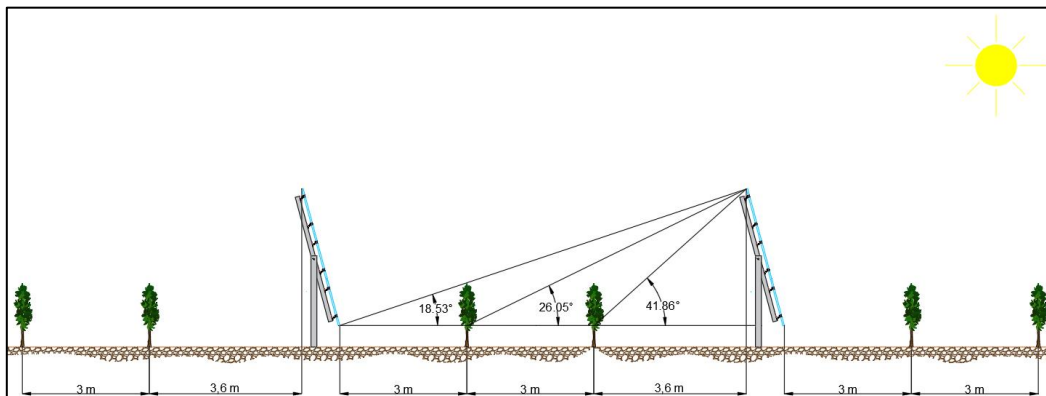


Ilustración 22: Perfil implantación 3H75°

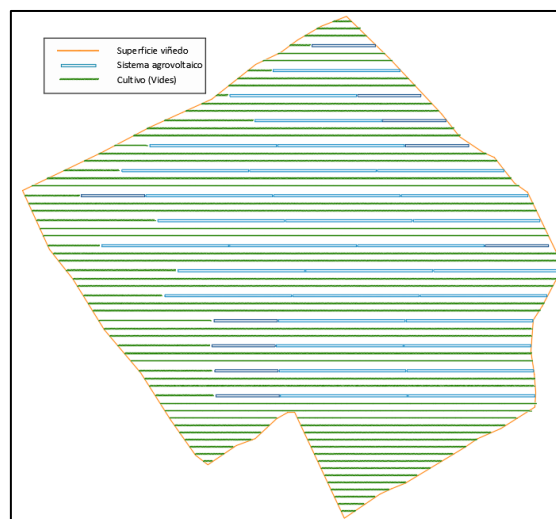


Ilustración 23: Implantación 3H75°

5.2.6 Implantación 1V60°

La implantación 1V60° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan un módulo en posición vertical con una inclinación de 60°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 14: Parámetros diseño implantación 1V60°.

Parámetros Diseño Implantación 1V60°	
Distancia entre estructuras	6,2 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3,2 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera	33,08°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,42°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

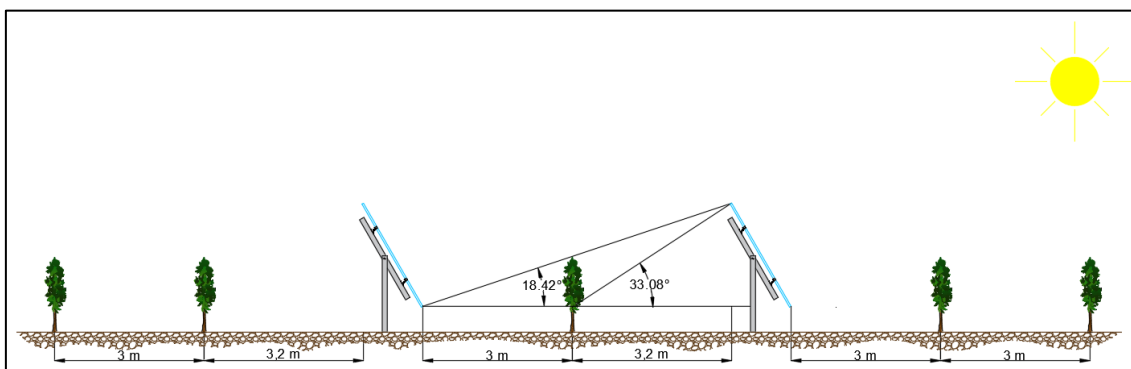


Ilustración 24: Perfil implantación 1V60°

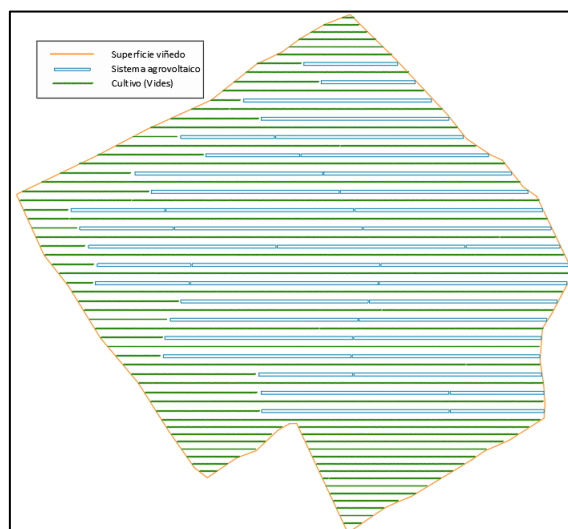


Ilustración 25: Implantación 1V60°

5.2.7 Implantación 2V60°

La implantación 2V60° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan dos módulos en posición vertical con una inclinación de 60°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 15: Parámetros diseño implantación 2V60°

Parámetros Diseño Implantación 2V60°	
Distancia entre estructuras	12,4 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3,4 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera 1	50,67°
Ángulo sombreado estructura – espaldera 2	32,97°
Ángulo sombreado estructura – espaldera 3	23,85°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,47°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

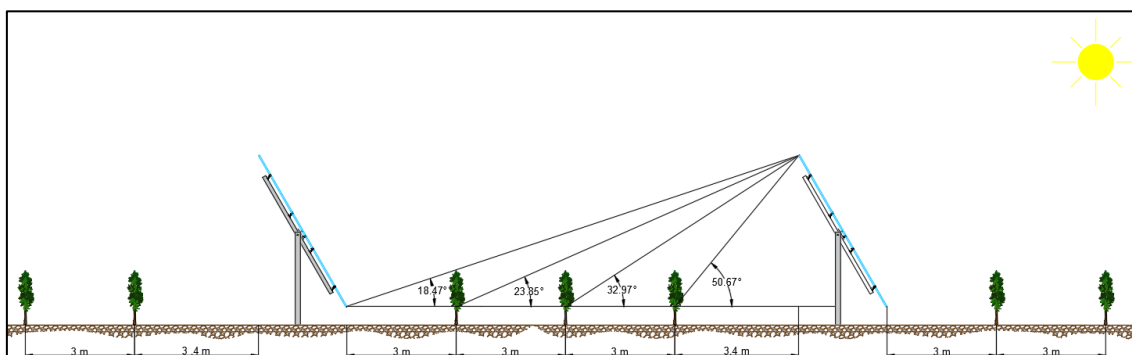


Ilustración 26: Perfil implantación 2V60°

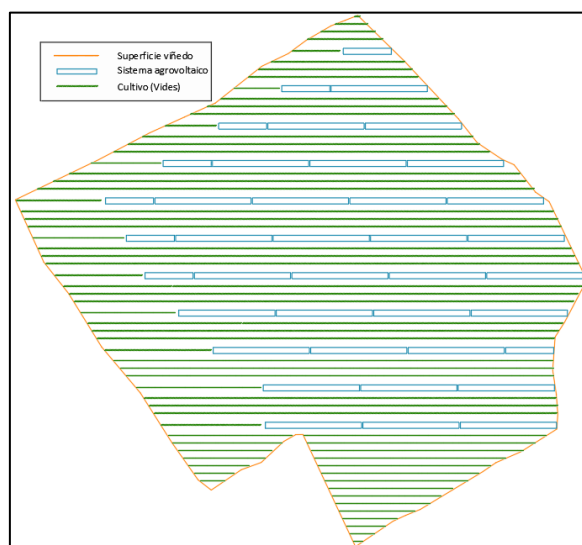


Ilustración 27: Implantación 2V60°

5.2.8 Implantación 3H60°

La implantación 3H60° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan tres módulos en posición horizontal con una inclinación de 60°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 16: Parámetros diseño implantación 3H60°.

Parámetros Diseño Implantación 3H60°	
Distancia entre estructuras	8,65 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	5,65 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera 1	27,24°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,49°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

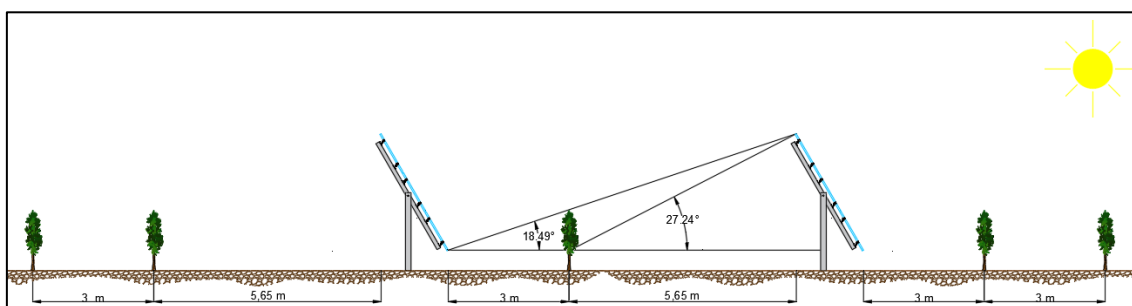


Ilustración 28: Perfil implantación 3H60.º

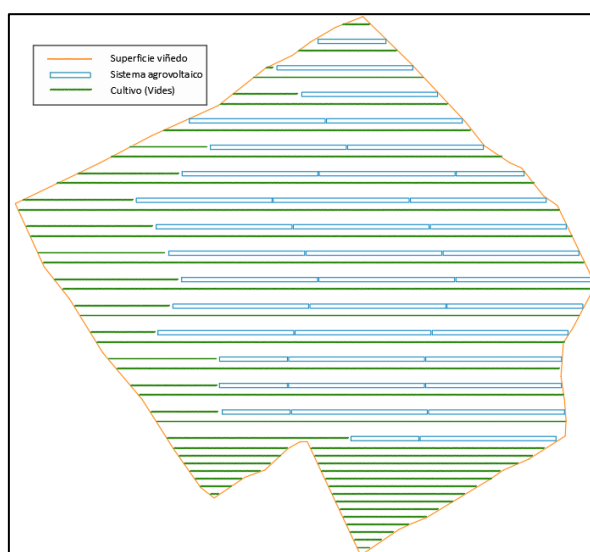


Ilustración 29: Implantación 3H60.º

5.2.9 Implantación 1V45°

La implantación 1V45° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan un módulo en posición vertical con una inclinación de 45°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 17: Parámetros diseño implantación 1V45°.

Parámetros Diseño Implantación 1V45°	
Distancia entre estructuras	6 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera 1	29,43°
Ángulo sombreado estructura - estructura	15,53°
Ángulo sombreado espaldera - estructura	18,05°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

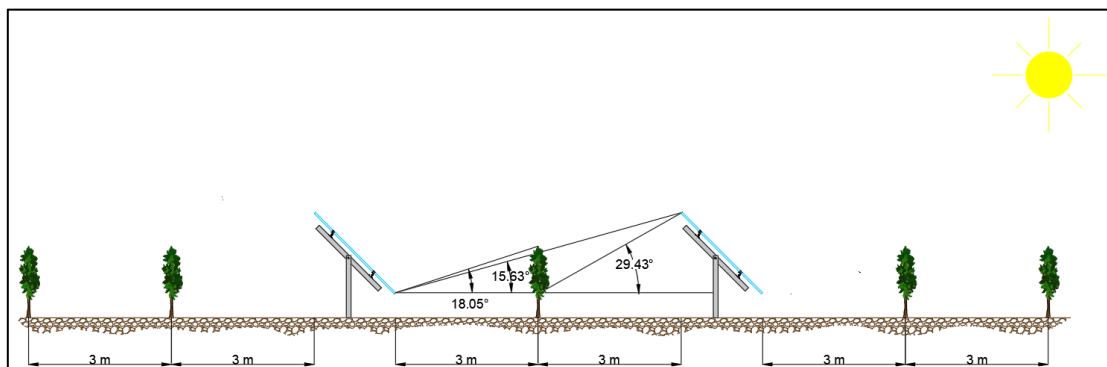


Ilustración 30: Perfil implantación 1V45°

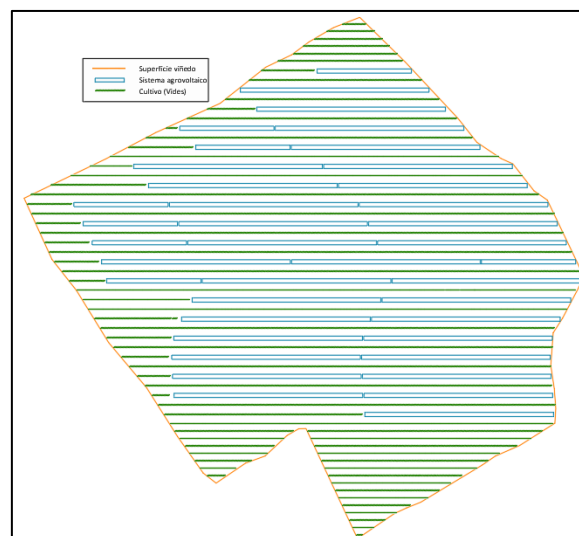


Ilustración 31: Implantación 1V45°

5.2.10 Implantación 2V45°

La implantación 2V45° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan dos módulos en posición vertical con una inclinación de 45°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 18: Parámetros diseño implantación 2V75°

Parámetros Diseño Implantación 2V45°	
Distancia entre estructuras	10,1 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	4,1 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera 1	39,61°
Ángulo sombreado estructura – espaldera 2	25,51°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,51°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

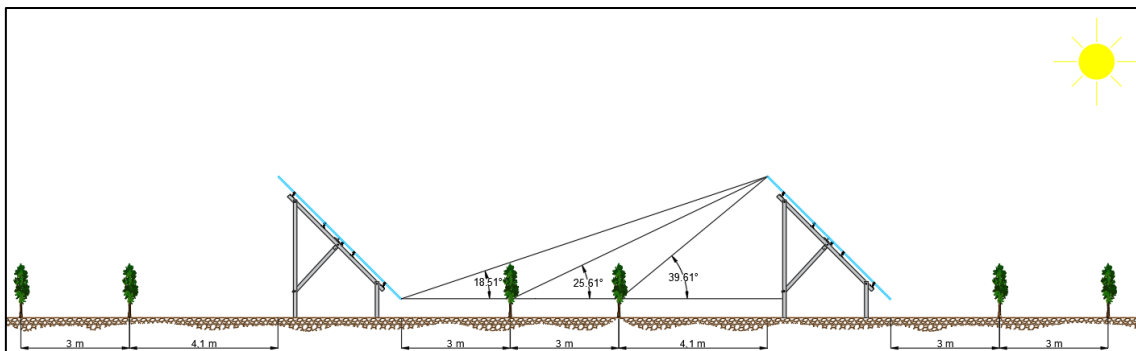


Ilustración 32: Perfil implantación 2V45°

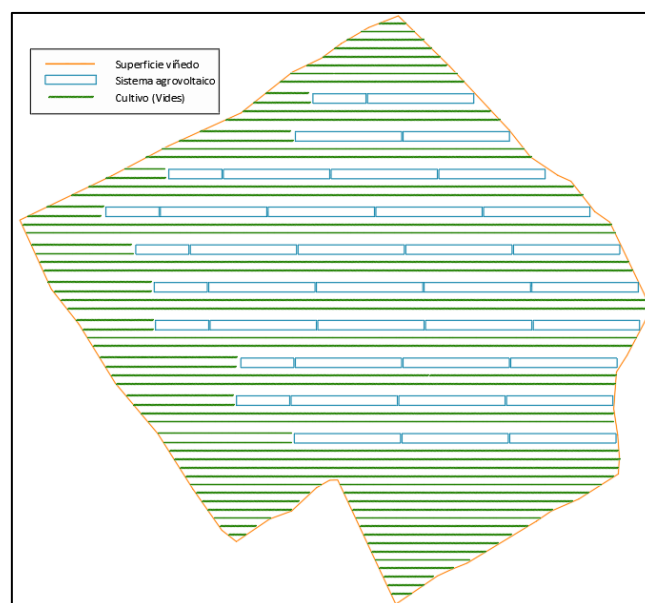


Ilustración 33: Implantación 2V45°

5.2.11 Implantación 3H45°

La implantación 3H45° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan tres módulos en posición horizontal con una inclinación de 45°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 19: Parámetros diseño implantación 3H45°

Parámetros Diseño Implantación 3H45°	
Distancia entre estructuras	7,06 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	4,06 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera	30,30°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,44°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

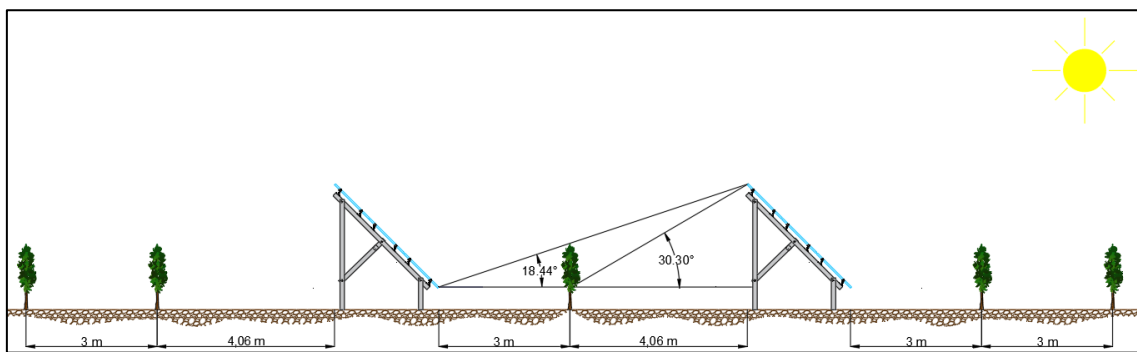


Ilustración 34: Perfil implantación 3H45°

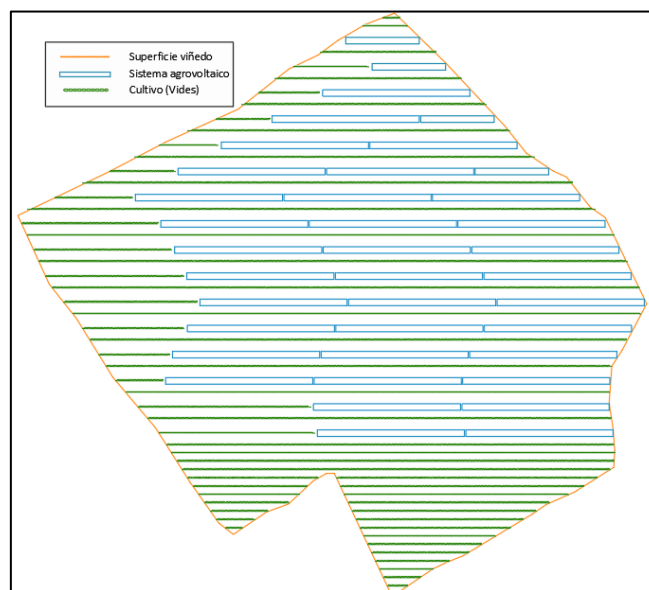


Ilustración 35: Implantación 3H45°

5.2.12 Implantación 1V30°

La implantación 1V30° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan un módulo en posición vertical con una inclinación de 30°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 20: Parámetros diseño implantación 1V30°

Parámetros Diseño Implantación 1V30°	
Distancia entre estructuras	6 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera	22,05°
Ángulo sombreado estructura - estructura	11,20°
Ángulo sombreado espaldera - estructura	17,91°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

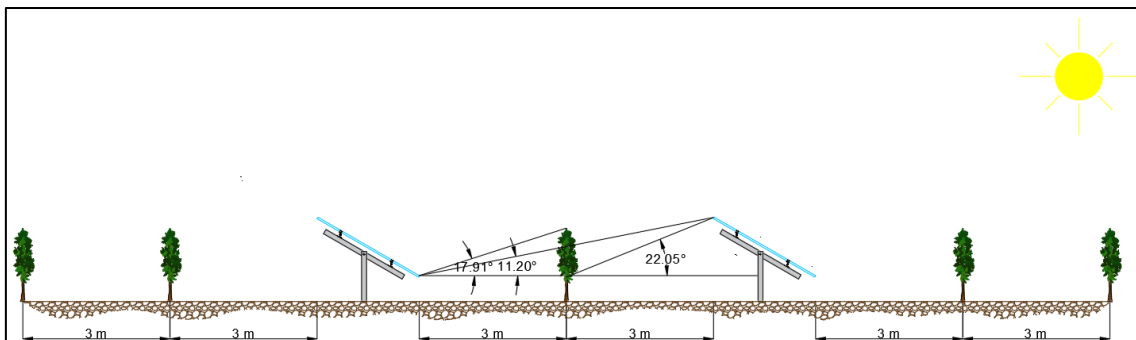


Ilustración 36: Perfil implantación 1V30°

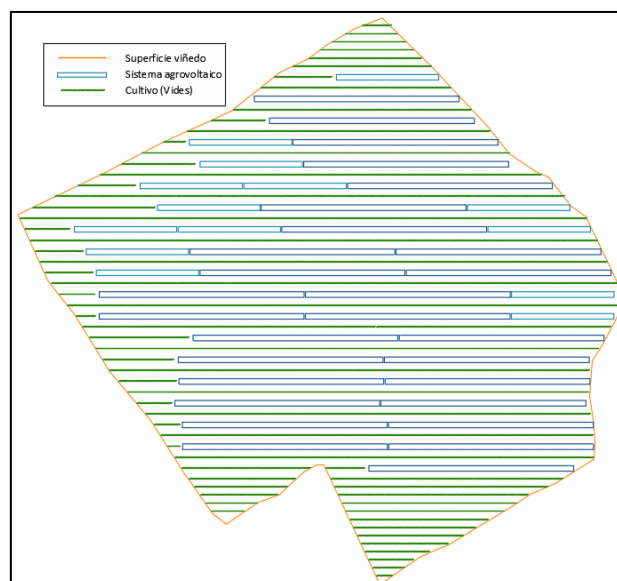


Ilustración 37: Implantación 1V30°

5.2.13 Implantación 2V30°

La implantación 2V30° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan dos módulos en posición vertical con una inclinación de 30°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 21: Parámetros diseño implantación 2V30°

Parámetros Diseño Implantación 2V30°	
Distancia entre estructuras	7,2 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	4,2 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera	29,92°
Ángulo sombreado estructura - estructura	18,37°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

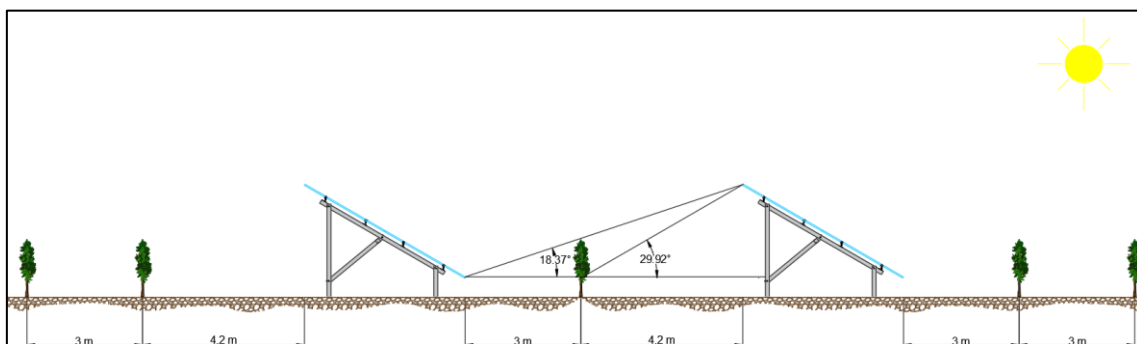


Ilustración 38: Perfil implantación 2V30°

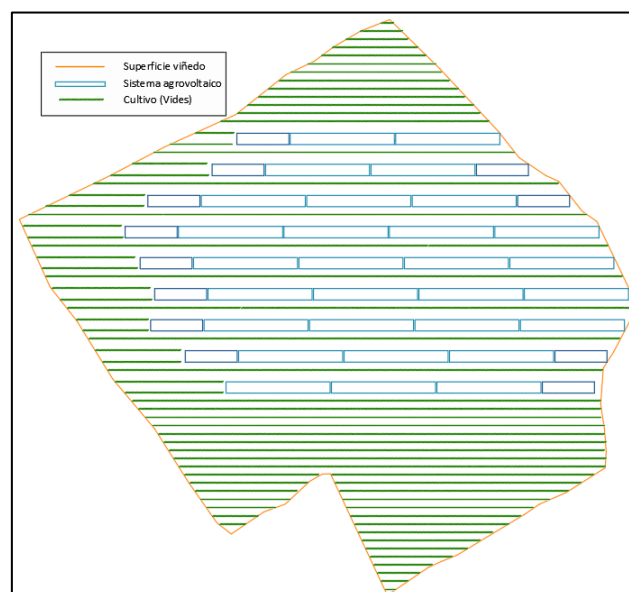


Ilustración 39: Implantación 2V30°

5.2.14 Implantación 3H30°

La implantación 3H30° está compuesta por estructuras solares fijas que soportan tres módulos en posición horizontal con una inclinación de 30°. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación

Tabla 22: Parámetros diseño implantación 3H30°

Parámetros Diseño Implantación 3H30°	
Distancia entre estructuras	6 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	3 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	3 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m
Ángulo sombreado estructura – espaldera	29,32°
Ángulo sombreado estructura - estructura	15,50°
Ángulo sombreado espaldera - estructura	17,99°

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

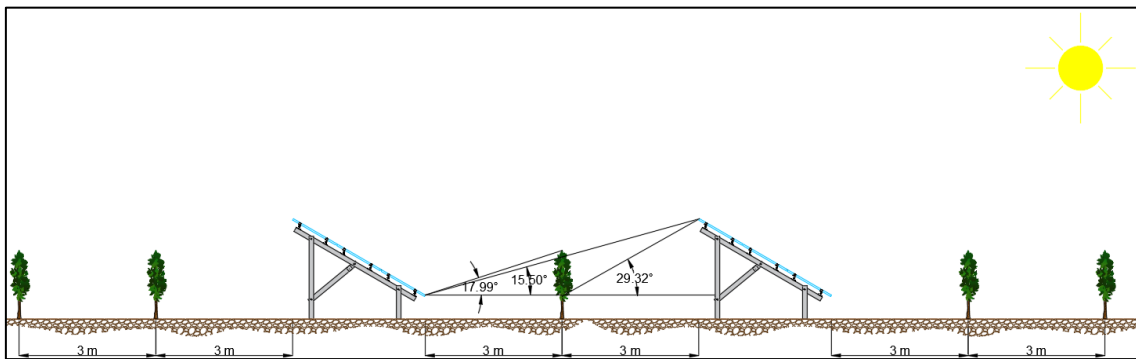


Ilustración 40: Perfil implantación 3H30°

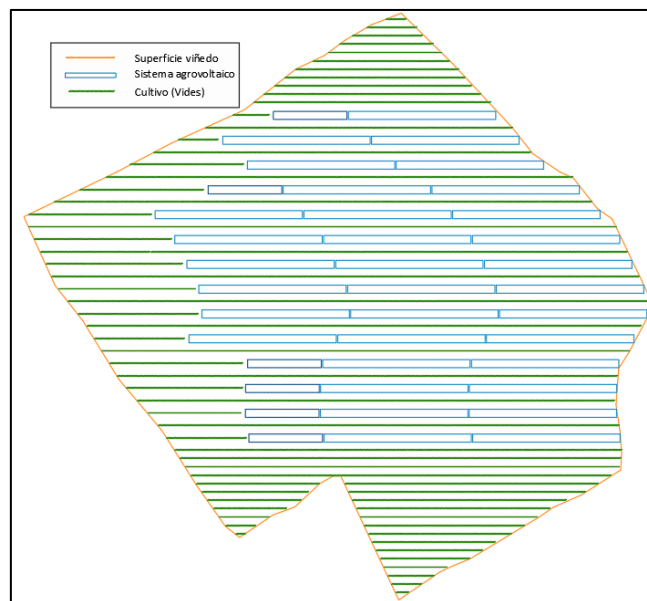


Ilustración 41: Implantación 3H30°

5.2.15 Implantación Seguidor N-S

La implantación está constituida con estructuras solares con seguimiento con una orientación N-S y un rango de inclinación $\pm 60^\circ$ de un módulo en posición vertical. La siguiente tabla describe las principales características de la implantación:

Tabla 23: Parámetros diseño implantación seguidor N-S

Parámetros Diseño Implantación seguidor N-S	
Pitch	8 m
Distancia entre estructura y espaldera delantera	4 m
Distancia entre estructura y espaldera trasera	4 m
Distancia entre hileras de espaldera	3 m

Las siguientes ilustraciones muestran una vista de perfil y en planta de la implantación agrovoltaica:

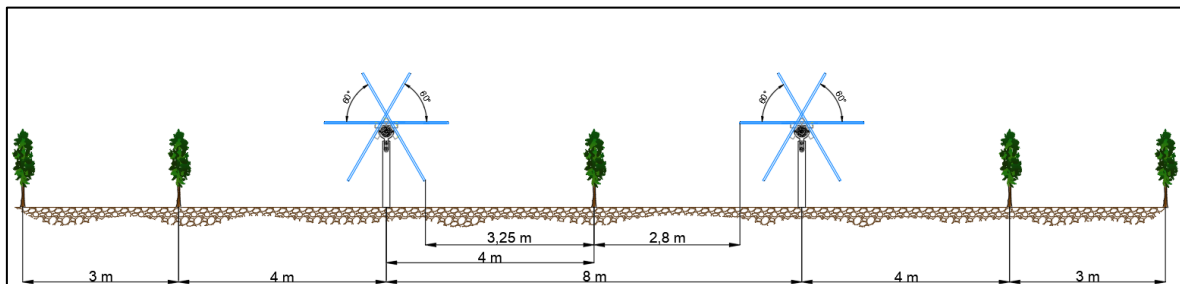


Ilustración 42: Perfil implantación seguidor.

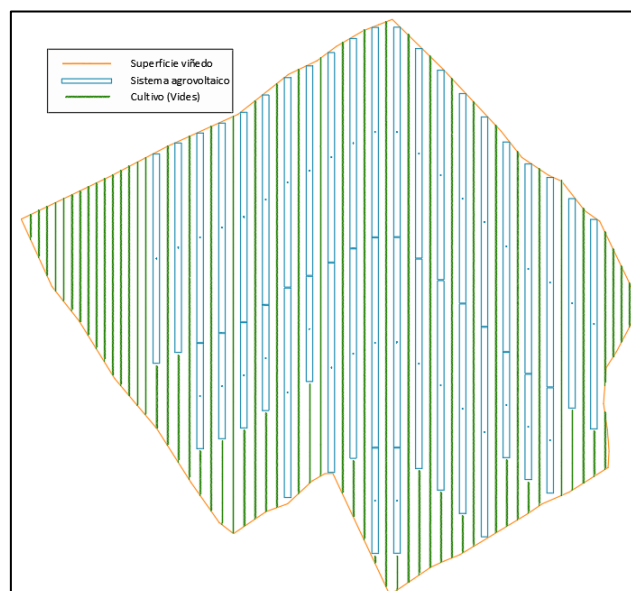


Ilustración 43: Implantación seguidor N-S

5.3 ANÁLISIS DEL SOBREADO SOBRE EL CULTIVO

5.3.1 Sombreado generado por las estructuras fijas

Para analizar el sombreado que generan las infraestructuras estudiadas sobre la superficie de la vid, se analizarán las horas de sol en las que la totalidad de la parte vegetal, desde la parte superior del tronco (0,5 m) hasta la parte más alta de la espaldera (1,5 m) recibe radiación directa del sol. Tomando como base el caso del viñedo sin implantaciones fotovoltaicas, se compararán las horas de radiación directa sobre el cultivo de las diferentes implantaciones agrovoltaicas.

El método utilizado para calcular las horas de sol sobre la vid consistirá en analizar la altura solar diaria al principio, en medio y al final de cada mes y luego realizar una media que nos permita obtener las horas de sol por mes. La altura solar nos proporcionará el ángulo de incidencia solar a lo largo del día. Al comparar el ángulo solar con el ángulo de sombreado que generan las otras hileras de la viña o las estructuras fotovoltaicas obtendremos las horas de radiación directa del sol sobre la vid (cuando el ángulo solar sea superior al de sombreado). Para obtener el ángulo solar de los tres días analizados por mes se utilizará una herramienta de Posición Solar que nos permite obtener este dato para una fecha y un emplazamiento determinado a intervalos de 5 minutos [20]. El análisis del sombreado se realiza para los meses de junio, julio, agosto y septiembre ya que es en este periodo en el que tienen lugar las etapas críticas del desarrollo de la uva: el envero y la maduración. Cabe señalar que las horas de sol resultantes son las horas donde la totalidad de la vid (salvo el tronco) está recibiendo radiación solar directa por lo que la parte superior de la vid recibirá más horas de sol y un menor porcentaje de sombreado que el calculado.

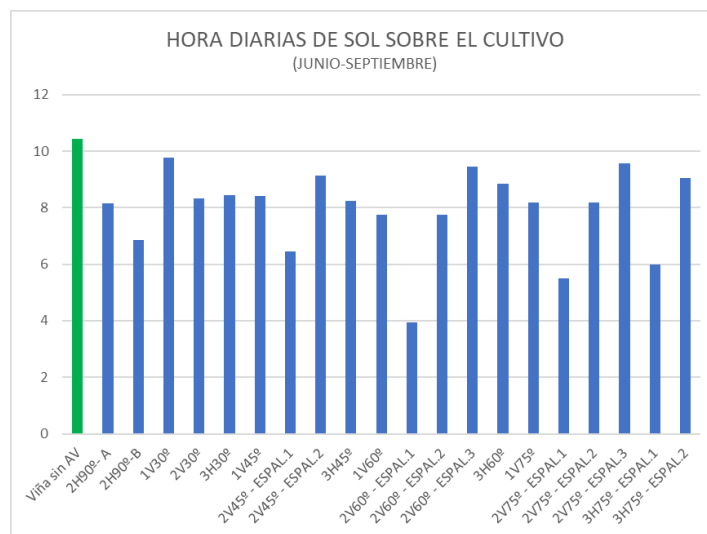


Ilustración 44: Horas de sol directo sobre el cultivo.

En la gráfica anterior se muestran la media de horas de sol diarias durante las etapas del envero y la maduración de la vid. La media diaria de horas de sol de la viña cuando no está afectada por los sistemas agrovoltaicos es de 10 horas y media aproximadamente.

La implantación de estructuras verticales ($2H90^\circ$) permite la radiación directa sobre la vid durante más de 8 horas en el caso de la implantación tipo A y de casi 7 horas en la implantación tipo B, lo que se traduce en una reducción de la exposición solar del 22% y del 34% respectivamente. La implantación $1V30^\circ$ es la que más horas de sol garantiza a la viña, casi 10 horas, quedando limitado el sombreado generado en cultivo a un 6,4%. Por otro lado, las configuraciones $2V30^\circ$, $3H30^\circ$, $1V45^\circ$ y $3H45^\circ$ permiten alrededor de 8 hora y media de exposición solar limitando el sombreado alrededor del 20%.

La implantación $2V45^\circ$ presenta dos hileras de cepas entre cada fila de estructuras, la fila ubicada tras la estructura (ESPAL1) recibe algo menos de 7 horas de radiación solar mientras que la hilera de cepas siguiente (ESPAL2) supera las 9 horas de incidencia, lo que resulta en unos sombreados aproximados del 38% y del 12% respectivamente. En el caso de la implantación $1V60^\circ$ la totalidad del cultivo tiene una exposición solar diaria de cerca de 8 horas lo que representa una sombreado del 26%. La implantación $2V60^\circ$, que tienen tres hileras de vides entre filas de estructuras recibiendo radiación solar en la totalidad del cultivo durante 9 horas y media en el caso de la fila más alejada de la estructura delantera (ESPAL3), algo menos de 8 h en el caso de la hilera central (ESPAL2) y apenas 4 horas de exposición solar para las espalderas más próximas a la estructura delantera. El porcentaje de sombreado es del 9,5%, 26% y 62% respectivamente.

La implantación $3H60^\circ$ permite 9 horas de radiación solar directa sobre el cultivo, siendo el sombreado generado de un 15%, mientras que la sombra generada por la implantación $1V75^\circ$ es del 21,5% lo que equivale a algo más de 8 horas de exposición solar.

En el caso de la implantación $2V75^\circ$, al igual que en la de $2V60^\circ$, existen tres hileras de vides entre las filas de las estructuras fotovoltaicas la más próxima a la estructura delantera (H1) y por tanto la más afectada por el sombreado de esta tiene 5 horas y media de radiación solar directa, por las más de 8 horas de la siguiente hilera (ESPAL2) y las más de 9 horas y media de la tercera hilera (ESPAL3). Los porcentajes de sombreado son del 47%, 22% y del 8% respectivamente.

Finalmente, la estructura $3H75^\circ$, que tiene 3 hileras de cepas entre las estructuras permite 6 (ESPAL 1) y 9 horas de radiación solar directa sobre el cultivo, reduciendo la exposición solar un 43% y un 13% respectivamente.

En conclusión, se ha comprobado como la mayor parte de las implantaciones no provocan un sombreado superior al 30%, lo que según los estudios y experimentos analizados no debería afectar negativamente ni al rendimiento del viñedo, ni a la calidad del vino. Por otro lado, la hilera ubicada detrás de la estructura 2V60° sí que sufre un sombreado excesivo que podría provocar tanto menores rendimientos como afectar a la composición del vino. Algo similar ocurre con la en las implantaciones 2V75°, 2V45 y 3H75° que, aunque sufren una menor reducción de la exposición solar (alrededor del 40%), podría afectar al desarrollo de la uva. Ligeramente superior al 30% se encuentra la implantación 3H90°, que no obstante garantiza 7 horas de sol sobre la totalidad del cultivo.

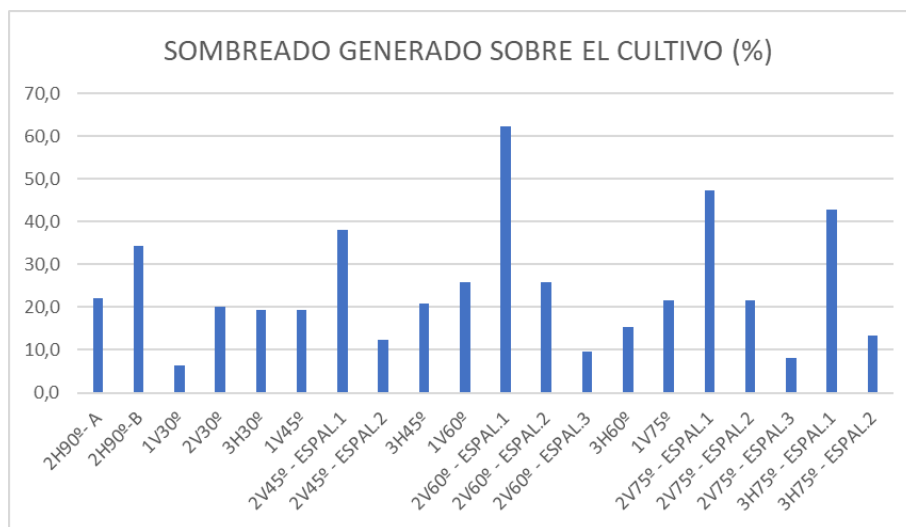


Ilustración 45: Sombreado sobre el cultivo.

5.3.2 Sombreado generado por los seguidores

La implantación constituida por seguidores N-S también generará cierto sombreado sobre las hileras de vides, pero la propia distancia entre estos y las hileras de vides, así como orientación de los seguidores frente al sol y la variación de la inclinación de los seguidores a lo largo del día para optimizar la captación de la radiación solar facilitará la incidencia de la luz solar sobre el cultivo.

Por otro lado, también tiene la ventaja de poder modificar, en caso de ser necesario, la inclinación de las estructuras de seguimiento con objeto de ajustar ese sombreado a las necesidades de la vid, incluso optimizarlo en función de parámetros ambientales como en el proyecto Winesolar llevado a cabo por Iberdrola, donde se han instalado varios seguidores solares en un viñedo conectados a diferentes sensores sobre el cultivo que transmiten la información al algoritmo de seguimiento de las estructuras para determinar cuál es el mejor ángulo de inclinación de los módulos para mantener las condiciones óptimas de la vid.

6 ANALISIS DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

Para la obtención de la producción eléctrica de las diferentes implantaciones analizadas se ha utilizado el programa PVsyst. En el **Anexo C** se pueden consultar los informes resultantes de las simulaciones realizadas.

6.1 SISTEMA AGROVOLTAICO

A continuación, se muestra las producciones eléctricas anuales de los diferentes sistemas agrovoltaicos analizados:

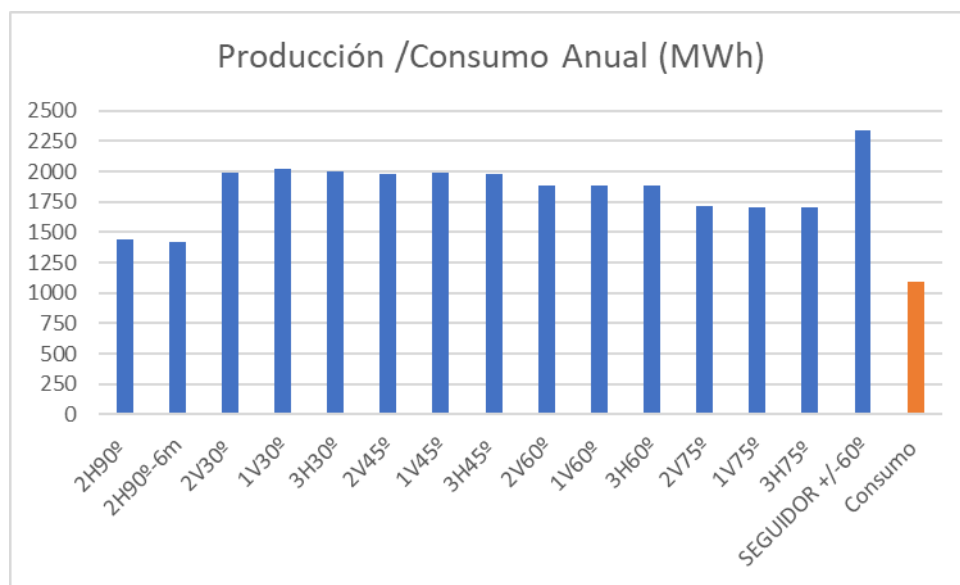


Ilustración 46: Producción y consumo anual.

En la ilustración superior podemos observar como todos los sistemas analizados generan excedentes en el cómputo anual superando el consumo de la bodega de 1095 MWh/año. No obstante, como es lógico, las producciones varían de forma importante en función de la inclinación de las diferentes implantaciones fotovoltaicas siendo las que presentan una estructura vertical (inclinación 90º) las que generan la menor producción, inferior a 1500 MWh, seguida de las implantaciones con una inclinación de 75º cuya producción alcanza los 1700 MWh anuales. Las implantaciones con 60º de inclinación presentan producciones eléctricas cercanas a los 1900 MWh mientras que las implantaciones con estructuras fotovoltaicas de 45º y 30º alcanzan una producción eléctrica cercana e incluso ligeramente superior (1V30º y 3H30º) a los 2000 MWh. Finalmente, y como no puede ser de otra manera, la implantación fotovoltaica de

seguidores a un eje presenta la mayor producción eléctrica superando con holgura los 2300 MWh.

Por lo tanto, la generación eléctrica de la implantación compuesta por seguidores solares genera un 65% más de energía que la constituida por estructuras verticales y un 16% más que la implantación fotovoltaica que tiene una inclinación de 30°, la estructura fija que presenta una mayor producción en el cómputo anual. Dentro de las implantaciones con estructura fija las inclinaciones de 30° y 45° producen un 40% más de electricidad que la estructura vertical, mientras que las inclinaciones de 60° y 75° generan un 33% y un 20% más respectivamente.

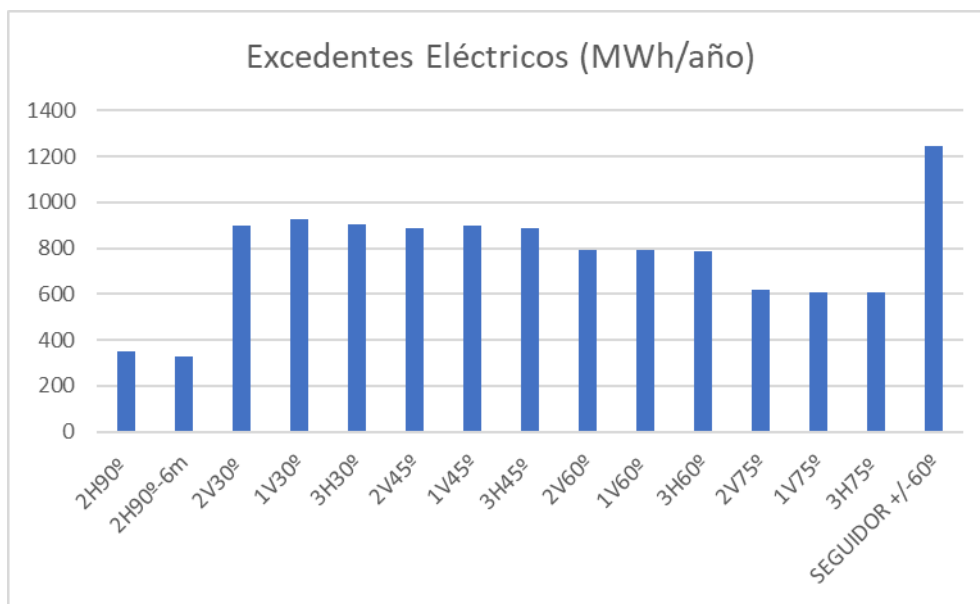


Ilustración 47: Excedentes eléctricos anuales.

Estrechamente ligada a la producción eléctrica de las diferentes implantaciones analizadas esta la generación de excedentes eléctricos que poder vender a mercado. En términos anuales la instalación agrovoltaica con seguidor produciría 1245 MWh de excedentes, un 35% más que los generados por la implantación de estructura fija de 30° (1V30°) que es capaz de verter a red 925 MWh/año. El resto de las implantaciones con 30° de inclinación (2V30° y 3H30) producen alrededor de 900MWh/año y las implantaciones de 45° apenas alcanzan esa cifra. Las instalaciones con inclinaciones de 60° y 75° generan excedentes eléctricos que se quedan cerca de alcanzar los 800 MWh/año en el primer caso y superan ligeramente los 600 MWh/año en el segundo caso. Finalmente, las implantaciones con estructura vertical producen 350MWh en el mejor de los casos, lo que representa únicamente un 28% de los excedentes generados

por la implantación con seguidores y un 38 % de los producidos por la implantación 1V30°.

En términos anuales y como era previsible la implantación que presenta una mayor producción y por lo tanto una mayor generación de excedentes es la constituida por seguidores solares y dentro de las estructuras fijas las que tienen una inclinación de 30°.

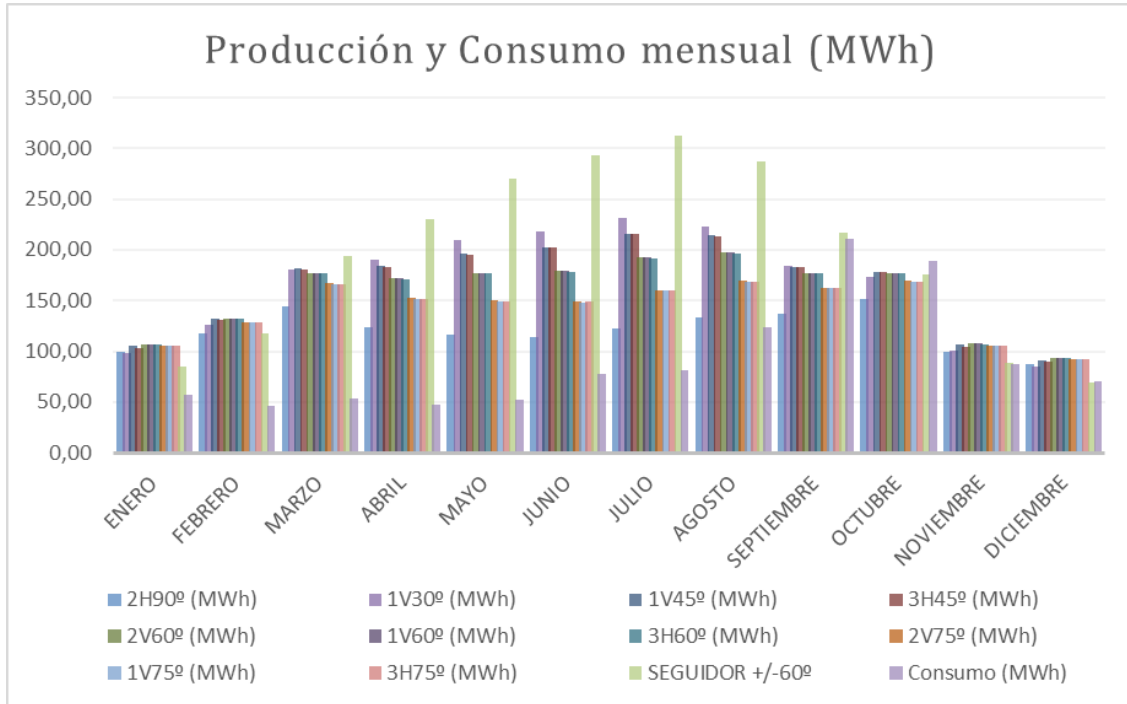


Ilustración 48: Producción y consumo eléctrico mensual a lo largo del año.

La grafica superior muestra la producción mensual de las diferentes instalaciones agrovoltaicas analizadas y el consumo eléctrico mensual de la bodega a lo largo del año. Teniendo en cuenta que la variable determinante en la producción eléctrica de las instalaciones agrovoltaicas es la inclinación de la estructura y con objeto de favorecer la interpretación de los gráficos se va a seleccionar un tipo de configuración por inclinación para continuar con el análisis. Por lo tanto, los resultados que se van a mostrar corresponden a las implantaciones 1V30°, 1V45°, 1V60°, 1V75, 2H90° y seguidor.

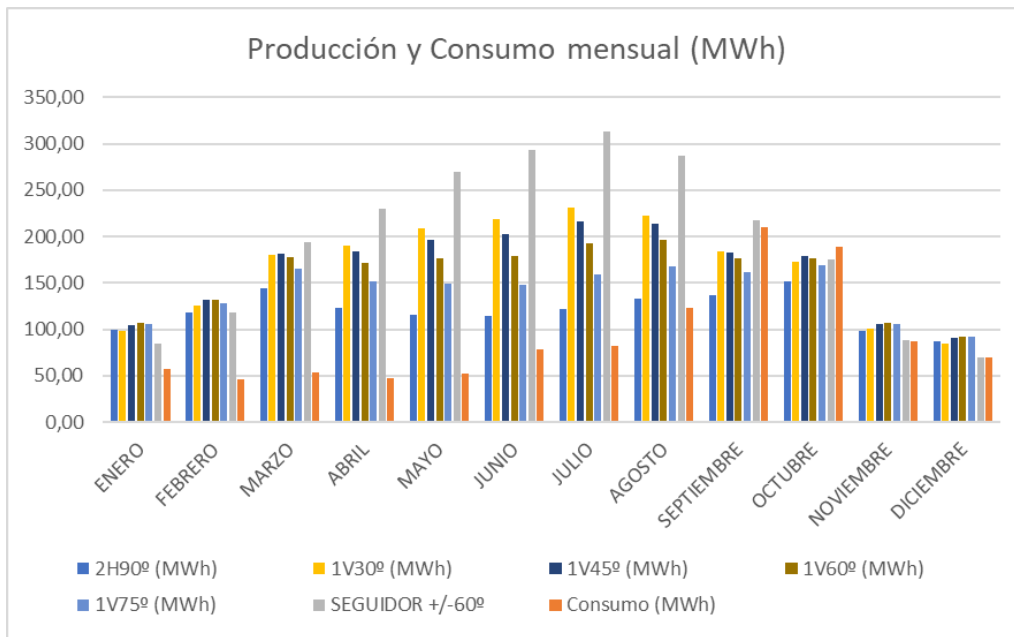


Ilustración 49: Producción (en función de la inclinación) y consumo eléctrico mensual a lo largo del año.

A continuación, se va a analizar el comportamiento de las diferentes implantaciones a lo largo del año.

Para analizar la producción mensual frente a la demanda cabe recordar la clasificación del consumo eléctrico de la bodega realizada en apartados anteriores: consumo bajo (durante los meses de enero a mayo), consumo medio (durante los meses de junio, julio, noviembre y diciembre) y consumo alto (agosto, septiembre y octubre).

A lo largo de los meses de consumo bajo donde la demanda mensual de la Bodega esta alrededor de los 50 MWh. Durante los dos primeros meses del año los sistemas con mayores inclinaciones son los que más producen, favorecidos por la menor altura solar y por lo tanto las mayores producciones son las generadas por los sistemas de 60° de inclinación seguido por los de 75° y 45°. Durante estos primeros meses las implantaciones que peor se comportan son lasa constituidas por seguidores solares y estructura fija con 30° de inclinación. No obstante, de marzo a mayo la situación da la vuelta siendo la implantación de seguidores solares la que más producción eléctrica tiene, seguida de la estructura fija de 30° cuya producción va en aumento, aunque en menor medida que los seguidores solares, conforme va avanzando el año. Finalmente, en mayo la producción eléctrica del sistema con seguimiento destaca ya de forma importante sobre el resto de las estructuras. En cuanto a las estructuras fijas la producción es mayor cuanto menor es el ángulo de inclinación, siendo la estructura vertical, como es lógico, la que muestra un menor nivel de producción.

Respecto a los meses de consumo medio las implantaciones se comportan de forma dispar. Durante los meses de verano (junio y julio) la implantación formada por

seguidores solares presenta una producción considerablemente superior al resto. En cuanto a las estructuras fijas, las de menor inclinación son las que más generación eléctrica muestran, beneficiadas por la mayor altura solar que caracteriza este periodo. Durante los meses de noviembre y diciembre se cambian las tornas y las implantaciones con estructuras fuertemente inclinadas son las que muestran un mejor comportamiento, siendo la implantación con seguidores solares la que muestra una menor producción. Es reseñable que, aunque en los meses invernales los seguidores y las estructuras con una inclinación inferior presentan un peor comportamiento, no existe una diferencia sustancial entre las producciones de los diferentes sistemas, algo que si ocurre durante los meses centrales del año cuando la producción de los seguidores y las estructuras de menor inclinación es sensiblemente superior a los sistemas verticales o con una inclinación más acusada.

Durante los meses de mayor consumo, de agosto a octubre, los seguidores solares son los que muestran una mejor producción eléctrica inicialmente, aunque ya en octubre (el mes de mayor consumo eléctrico en la bodega) es la estructura fija con inclinación de 45° la que tiene la mayor producción. No obstante, no hay grandes diferencias entre la producción eléctrica de los diferentes sistemas AV, salvo en el caso de la estructura vertical que, aunque presenta uno de su mejor mes en cuanto a producción, sigue por debajo del resto de implantaciones.

7 PRODUCCIÓN DEL CULTIVO

En el presente apartado se obtendrán las producciones estimadas de las diferentes implantaciones con objeto de poder compararlas entre sí y con la producción del viñedo en ausencia de instalaciones agrovoltaicas.

7.1 CÁLCULO DE LAS PRODUCCIONES

El método utilizado para el cálculo de las cepas que pueden cultivarse en cada implantación AV en el viñedo es gráfico. Mediante el programa Autocad se han ido dibujando “las cepas” a lo largo de las hileras y finalmente se han contado el número existente por implantación.

Para el cálculo de los kilogramos de uva que se producen se ha estimado una producción de 2kg/cepa, ya que según la información consultada el rendimiento medio para un viñedo de secano de la variedad Tempranillo suelen ser entre 1,5 – 2,5 kg/cepa. Para conocer la cantidad de vino que finalmente va a estar disponible para la venta se ha estimado que 1 kg de uva produce 0,75 litros de vino. Por otro lado, con objeto de reflejar en la producción las posibles reducciones del rendimiento de la viña cuando sufre un exceso de sombreado se aplicarán unos coeficientes reductores a los kg de uva producidos en las hileras afectadas. Estos coeficientes serán de 0,75 para las hileras con un sombreado superior al 50% y de 0,85 para las hileras con un sombreado superior al 40%.

7.1.1 Producción de los viñedos sin agrovoltaica

Tabla 24: Viña con las hileras en dirección Este – Oeste

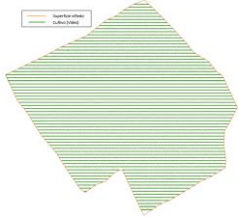
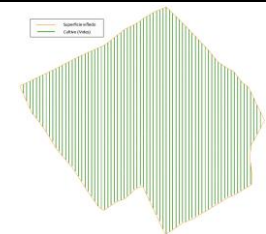
VIÑEDO HILERAS E-O SIN AGROVOLTAICA		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	7.687
	Número de cepas por hectárea (uds/Ha)	2.765
	Producción de uva (kg)	15.374
	Producción de uva por hectárea (kg/Ha)	5.530
	Producción de litros de vino	11.531
	Producción de litros de vino por hectárea	4.148

Tabla 25: Viña con las hileras en dirección Norte – Sur

VIÑEDO HILERAS N-S SIN AGROVOLTAICA		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	7.692
	Número de cepas por hectárea (uds/Ha)	2.767
	Producción de kilogramos de uva (kg)	15.384
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/Ha)	5.534
	Producción de litros de vino	11.538
	Producción de litros de vino por hectárea	4.150

7.1.2 Producción de los viñedos con implantaciones agrovoltaicas de estructura fija

Tabla 26: Implantación 2H90°-A

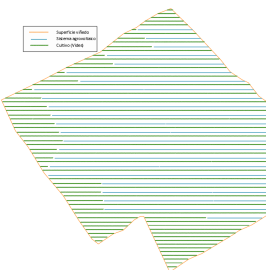
IMPLANTACIÓN 2H90° - A		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	4.248
	Número de cepas por hectárea (uds/Ha)	1.528
	Producción de uva (kg)	8.496
	Producción de uva por hectárea (kg/Ha)	3.056
	Producción de litros de vino	6.372
	Producción de litros de vino por hectárea	2.292
	Disminución de la producción por la implantación AV	45%

Tabla 27: Implantación 2H90°-B

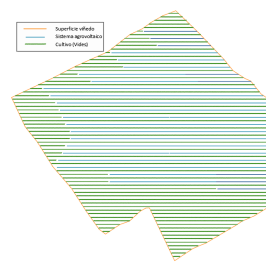
IMPLANTACIÓN 2H90° - B		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	5.077
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.826
	Producción de uva (kg)	10.154
	Producción de uva por hectárea (kg/Ha)	3.653
	Producción de litros de vino	7.616
	Producción de litros de vino por hectárea	2.739
	Disminución de la producción por la implantación AV	34%

Tabla 28: Implantación 1V75°

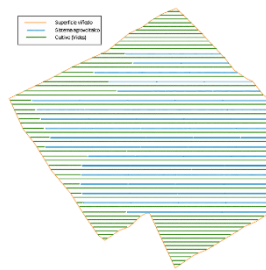
IMPLANTACIÓN 1V75°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	4.075
	Número de cepas por hectárea (uds/Ha)	1.466
	Producción de uva (kg)	10.188
	Producción de uva por hectárea (kg/Ha)	3.665
	Producción de litros de vino	7.641
	Producción de litros de vino por hectárea	2.748
	Disminución de la producción por la implantación AV	47%

Tabla 29: Implantación 2V75°

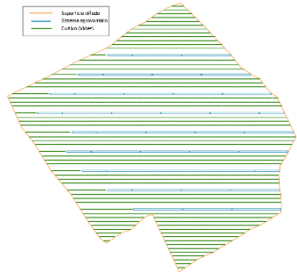
IMPLANTACIÓN 2V75°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	5.221
	Número de cepas por hectárea (uds/Ha)	1.878
	Número de cepas con sombreado >40%	1.298
	Producción de las hileras sombreadas >40% (kg)	2.207
	Producción de uva (kg)	10.053
	Producción de uva por hectárea (kg/Ha)	3.616
	Producción de litros de vino	7.539
	Producción de litros de vino por hectárea	2.712
	Disminución de la producción por la implantación AV	35%

Tabla 30: Implantación 3HV75°

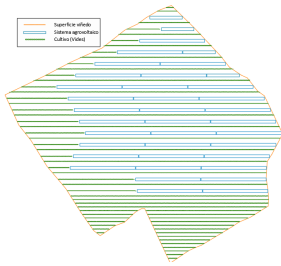
IMPLANTACIÓN 3HV75°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	5.108
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.837
	Número de cepas con sombreado >40%	1.917
	Producción de uva de las hileras sombreadas >40% (kg)	3.259
	Producción de kilogramos de uva (kg)	9.641
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	3.468
	Producción de litros de vino	7.231
	Producción de litros de vino por hectárea	2.601
	Disminución de la producción por la implantación AV	37%

Tabla 31: Implantación 1V60°

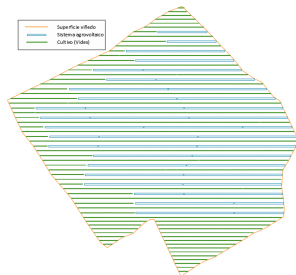
IMPLANTACIÓN 1V60°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	4.143
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.490
	Producción de kilogramos de uva (kg)	8.286
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.981
	Producción de litros de vino	6.215
	Producción de litros de vino por hectárea	2.235
	Disminución de la producción por la implantación AV	46%

Tabla 32: Implantación 2V60°

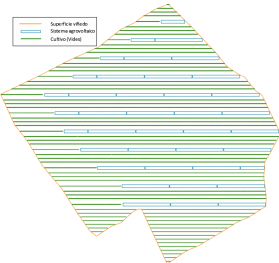
IMPLANTACIÓN 2V60°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	5.212
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.875
	Número de cepas con sombreado >50%	1.398
	Producción de las hileras sombreadas >50% (kg)	1.957
	Producción de kilogramos de uva totales(kg)	9.585
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	3.448
	Producción de litros de vino	7.189
	Producción de litros de vino por hectárea	2.586
	Disminución de la producción por la implantación AV	38%

Tabla 33: Implantación 3H60°

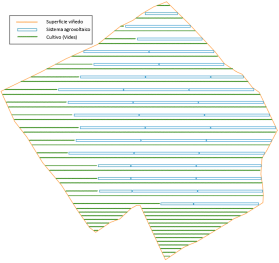
IMPLANTACIÓN 3H60°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	3.124
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.124
	Producción de kilogramos de uva (kg)	6.248
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.247
	Producción de litros de vino	4.686
	Producción de litros de vino por hectárea	1.686
	Disminución de la producción por la implantación AV	59%

Tabla 34: Implantación 1V45°

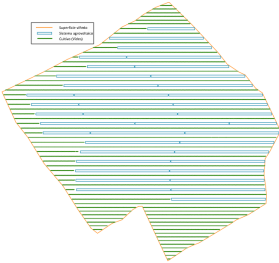
IMPLANTACIÓN 1V45°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	3.945
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.419
	Producción de kilogramos de uva (kg)	7.890
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.838
	Producción de litros de vino	5.918
	Producción de litros de vino por hectárea	2.129
	Disminución de la producción por la implantación AV	49%

Tabla 35: Implantación 2V45°

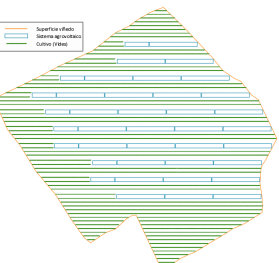
IMPLANTACIÓN 2V45°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	4.704
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.692
	Producción de kilogramos de uva (kg)	9.408
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	3.384
	Producción de litros de vino	7.056
	Producción de litros de vino por hectárea	2.538
	Disminución de la producción por la implantación AV	39%

Tabla 36: Implantación 3H45°

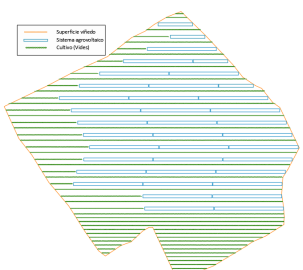
IMPLANTACIÓN 3H45°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	3.769
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.356
	Producción de kilogramos de uva (kg)	7.538
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.712
	Producción de litros de vino	5.654
	Producción de litros de vino por hectárea	2.034
	Disminución de la producción por la implantación AV	51%

Tabla 37: Implantación 1V30°

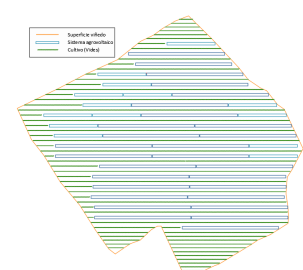
IMPLANTACIÓN 1V30°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	3.611
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.299
	Producción de kilogramos de uva (kg)	7.222
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.598
	Producción de litros de vino	5.417
	Producción de litros de vino por hectárea	1.948
	Disminución de la producción por la implantación AV	53%

Tabla 38: Implantación 2V30°

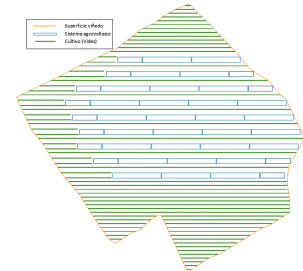
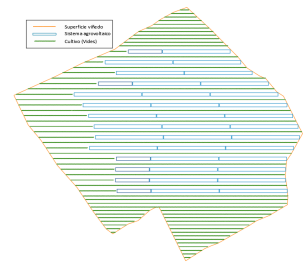
IMPLANTACIÓN 2V30°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	4.330
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.558
	Producción de kilogramos de uva (kg)	8.660
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	3.115
	Producción de litros de vino	6.495
	Producción de litros de vino por hectárea	2.336
	Disminución de la producción por la implantación AV	44%

Tabla 39: Implantación 3H30°

IMPLANTACIÓN 3H30°		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	4.074
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.465
	Producción de kilogramos de uva (kg)	8.148
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.931
	Producción de litros de vino	6.111
	Producción de litros de vino por hectárea	2.198
	Disminución de la producción por la implantación AV	47%

7.1.3 Producción del viñedo con implantación agrovoltaica de seguidores N-S

Tabla 40: Implantación seguidor N-S

IMPLANTACIÓN SEGUIDOR N-S		
	Número de cepas en el viñedo (uds)	3.775
	Número de cepas por hectárea (uds/ha)	1.358
	Producción de kilogramos de uva (kg)	7.550
	Producción de kilogramos de uva por hectárea (kg/ha)	2.716
	Producción de litros de vino	5.663
	Producción de litros de vino por hectárea	2.037
	Disminución de la producción por la implantación AV	51%

7.2 ANÁLISIS DE LAS PRODUCCIONES DEL CULTIVO

En el gráfico inferior se muestran los kilogramos de uva que produce el viñedo en base a las diferentes implantaciones analizadas.

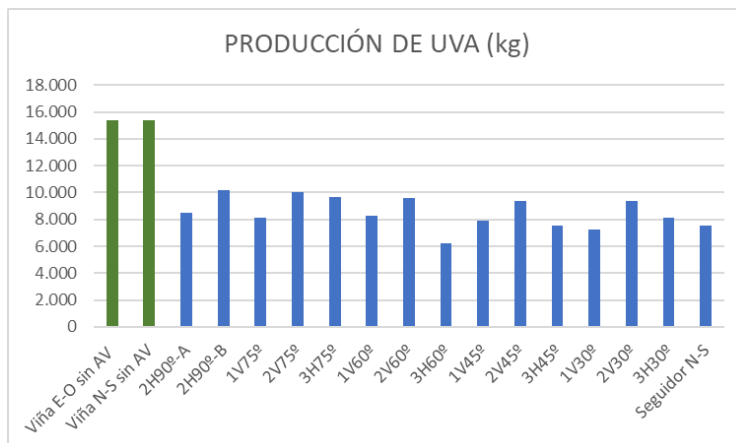


Ilustración 50: Producción anual de kg de uva de las implantaciones.

Como se puede observar en el gráfico superior tanto el viñedo con las hileras E-O como el constituido por hileras N-S presentan una producción similar de 15.374 kg y 15.384 kg respectivamente, lo que representa un rendimiento de 5.530 kg/Ha que es un valor normal para un viñedo de secano como el analizado.

En cuanto a las implantaciones analizadas, podemos observar como la constituida por estructuras verticales (2H90º-B), es la que menos afecta a la producción del cultivo, que disminuye un 34%, lo que se traduce en 10.154 kg de uva producidos al año. Respecto al sistema de estructuras verticales (2H90º-A), podemos observar una disminución de la producción respecto al viñedo sin AV del 45%, lo que equivale a una producción de 8.496 kg /año. La diferencia entre ambas implantaciones es del 16% o lo que es lo mismo de 1.658 kg/año, lo que es lógico ya que la implantación 2H90º- B presenta menores distancias a las hileras de vides y a las otras estructuras, pero por otro lado el sombreado sobre las hileras también es mayor (+12%).

En las implantaciones con estructuras fijas inclinadas 75º observamos que la que mejor comportamiento presenta es el sistema 2V75º con una producción anual de la viña de 10.053 Kg seguido del sistema 3H75º con una producción de 9.641 kg/año y del sistema 1V60º con 8.150 kg/año. Las pérdidas de producción respecto al viñedo sin AV son del 35%, 37% y 47%. Es reseñable que la producción de la implantación 2V75º, aunque se le ha aplicado un factor reductor del 30% sobre las hileras sombreadas, es un 23% superior a la implantación 1V75.

Las implantaciones 1V60°, 2V60° y 3H60° tienen una producción de uva de 8.286 kg/año, 9.585 kg/año y 6.248 kg/año que equivale a una reducción del 46%, 38% y 59% respectivamente. La implantación con estructuras 3H60° es la que menos producción presenta de todas las analizadas y es un 45% inferior a la a la configuración 2V60°.

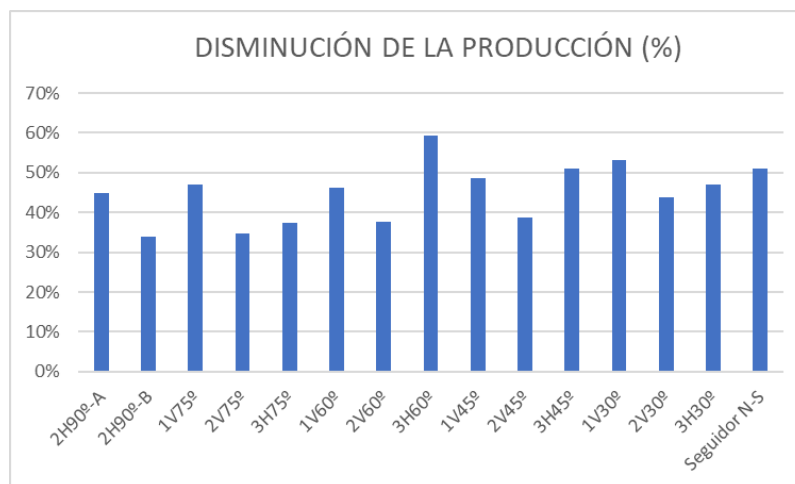


Ilustración 51: Reducción de la producción del cultivo por los sistemas AV.

En cuanto a las implantaciones con estructuras inclinadas 45°, el sistema AV que permite una mayor producción del viñedo es el 2V con 9.408 kg/año, que equivale a una reducción del 39% respecto a la producción original, seguido del sistema 1V que presenta una producción de 7.890 kg/año, 49% menos. Por último, la implantación constituida por estructuras 3H tiene una producción de 7.538 kg/año, o lo que es lo mismo, una reducción del 51% respecto al viñedo sin AV.

En el caso del viñedo con estructuras fijas inclinadas 30°, se puede observar como la estructura 2V es la que mayor producción del cultivo permite con 9.408 kg, seguida de la estructura 3H con 8.148 kg y la estructura 1V con 7.550 kg. Las citadas producciones de uva equivalen a una reducción de la producción del cultivo respecto al viñedo sin AV del 44%, 47% y 51%.

En el caso de la instalación con seguidor la pérdida de producción del viñedo es del 51%, con una producción de uva de 7.550 kg. Lo que es consecuencia de la elevada distancia entre las estructuras de seguimiento.

En resumen, las diferentes implantaciones analizadas presentan una reducción en la producción del cultivo de entre el 34% (2H90°-B) y el 59% (3H60°). Por otro lado, las estructuras 2V muestran las mayores producciones frente a las estructuras 1V y 3H para una misma inclinación. En cuanto a los seguidores solares presentan una considerable reducción de la producción del cultivo.

8 ANÁLISIS ECONÓMICO

8.1 FLUJOS DE FONDO ANUALES

8.1.1 Ahorro económico en el coste de la electricidad

En el presente apartado se va a analizar el ahorro económico anual en el coste eléctrico de la bodega derivado de la energía generada en las implantaciones agrovoltaicas. El coste de la energía demandada por la Bodega durante el año 2022 varía en función de los periodos que componen su tarifa eléctrica (6.1. TD). En la tabla inferior se muestran los precios en €/kWh para cada periodo.

Tabla 41: Precios de la energía por periodo (€/kWh)

	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
Coste (€/kWh)	0,18521	0,165712	0,14437	0,133199	0,115079	0,135189

Al restar a la demanda de la bodega, la energía eléctrica suministrada por los diferentes sistemas agrovoltaicos, se obtiene el ahorro anual en base a los precios horarios citados anteriormente. A continuación, se muestra el coste eléctrico anual del consumo de la bodega y el ahorro producido por las instalaciones agrovoltaicas en base al año 2022. Se ha tenido en cuenta el impuesto a la electricidad (en el año 2022 fue de 0,5% y el I.V.A. (21%) correspondiente al coste de la energía.

Tabla 42: Ahorro en el coste eléctrico

	Coste del término de energía	Coste del término de energía tras impuestos	Ahorro (€)	Ahorro (%)
COSTE SIN AV	150.359 €	182.844 €	-	-
2H90° - A	84.687 €	102.984 €	79.860 €	44%
2H90° - B	84.985 €	103.346 €	79.498 €	43%
2V30°	82.566 €	100.404 €	82.440 €	45%
1V30°	82.486 €	100.307 €	82.537 €	45%
3H30°	82.567 €	100.406 €	82.438 €	45%
2V45°	82.658 €	100.516 €	82.328 €	45%
1V45°	82.665 €	100.525 €	82.319 €	45%
3H45°	82.691 €	100.556 €	82.288 €	45%
2V60°	83.106 €	101.061 €	81.783 €	45%
1V60°	83.106 €	101.061 €	81.783 €	45%
3H60°	83.175 €	101.145 €	81.699 €	45%
2V75°	83.768 €	101.866 €	80.978 €	44%
1V75°	83.888 €	102.012 €	80.832 €	44%
3H75°	83.857 €	101.974 €	80.870 €	44%
SEGUIDOR N-S	80.233 €	97.567 €	85.277 €	47%

De los resultados obtenidos se puede observar que todos los sistemas generan un importante ahorro sobre la factura eléctrica de la bodega, que en ausencia de las implantaciones agrovoltaicas asciende a 182.844 €. Este ahorro es de entre 79.860 € (2H90-B) y 85.277 € (seguidor). El hecho de que la parte fotovoltaica se ha dimensionado para generar excedentes y por lo tanto está sobredimensionada en relación con el consumo, favorece que todas las implantaciones sean capaces de generar un importante ahorro que va de un 44% a un 47%.

8.1.2 Ingresos derivados de la venta de energía a red

Para el cálculo de los ingresos derivados de la venta a mercado de la energía generada por los diferentes sistemas se ha utilizado el precio de mercado OMIE del año 2022 y 2023 [21]. En el caso del año 2023 se han utilizado los precios de OMIE hasta octubre y se han estimado los precios de los meses de noviembre y diciembre en base a las variaciones del año 2022, de esos meses, respecto a octubre. En el **Anexo E** se pueden consultar las tablas horarias con los precios de la electricidad.

Respecto al precio de mercado hay que tener en cuenta la parte que se lleva la comercializadora, que en estos casos representa al productor. Este coste suele ser de entre 5-10€/ MWh, para el presente trabajo se ha utilizado el valor de 7 €/MWh vendido. En la tabla inferior se muestran los ingresos anuales derivados de la venta de los excedentes eléctricos generados por las diferentes implantaciones AV, en la tabla se muestran los ingresos económicos de la venta de la electricidad a mercado habiendo tenido en cuenta ya la parte que cobra la comercializadora por su labor de representación y venta. No se ha tenido en cuenta el impuesto a la producción de electricidad (7%), suspendido en los años 2022 y 2023.

Tabla 43: Ingresos por la venta de excedentes

	INGRESOS 2022	INGRESOS 2023
2H90°	148.731,29 €	59.407,08 €
2H90°-6m	145.477,86 €	58.003,06 €
2V30°	225.756,89 €	90.974,05 €
1V30°	229.624,61 €	92.565,68 €
3H30°	226.905,91 €	91.436,04 €
2V45°	224.078,60 €	90.411,74 €
1V45°	225.777,14 €	91.086,70 €
3H45°	223.875,68 €	90.325,89 €
2V60°	211.215,05 €	85.045,51 €
1V60°	210.913,58 €	84.917,32 €
3H60°	210.529,41 €	84.746,45 €
2V75°	186.562,10 €	74.824,32 €
1V75°	185.352,51 €	74.302,59 €
3H75°	185.423,97 €	74.330,33 €
SEGUIDOR +/-60°	280.379,89 €	117.794,65 €

8.1.3 Disminución de los ingresos por la venta de vino

Para calcular la pérdida económica que supone la menor producción del viñedo afectado por los sistemas agrovoltaicos se ha estimado el coste de la producción de uva de 0,8 €/kg y el precio de venta de 1,20 €/kg por lo que el beneficio por la producción del cultivo asciende a 0,4 €/kg.

Tabla 44: Disminución de ingresos por la producción de vino.

Implantaciones	Producción (kg)	Ingresos	Reducción de ingresos	Reducción de ingresos
Viña E-O sin AV	15.374	6.150 €	-	-
Viña N-S sin AV	15.384	6.154 €	-	-
2H90°-A	8.496	3.398 €	2.751 €	45%
2H90°-B	10.154	4.062 €	2.088 €	34%
1V75°	8.150	3.260 €	2.890 €	47%
2V75°	10.053	4.021 €	2.129 €	35%
3H75°	9.641	3.856 €	2.293 €	37%
1V60°	8.286	3.314 €	2.835 €	46%
2V60°	9.585	3.834 €	2.316 €	38%
3H60°	6.248	2.499 €	3.650 €	59%
1V45°	7.890	3.156 €	2.994 €	49%
2V45°	9.408	3.763 €	2.386 €	39%
3H45°	7.538	3.015 €	3.134 €	51%
1V30°	7.222	2.889 €	3.261 €	53%
2V30°	9.408	3.763 €	2.386 €	39%
3H30°	8.148	3.259 €	2.890 €	47%
Seguidor N-S	7.550	3.020 €	3.134 €	51%

8.2 Flujos de fondos anuales

En la siguiente tabla se presenta un resumen del flujo de fondos anuales, para el año 2022 y 2023, derivados de la ejecución de las implantaciones agrovoltaicas:

Tabla 45: Flujos de fondos anuales 2022 y 2023.

Implantaciones	Ahorro coste eléctrico	Ingresos de la venta de excedentes (2022)	Ingresos de la venta de excedentes (2023)	Disminución de los ingresos por la venta de vino	Flujo de fondos 2022	Flujo de fondos 2023
2H90°- A	79.860 €	148.731 €	59.407,08 €	-2.751 €	225.841 €	136.516 €
2H90°- B	79.498 €	145.478 €	58.003,06 €	-2.088 €	222.888 €	135.413 €
2V30°	82.440 €	225.757 €	90.974,05 €	-2.890 €	305.307 €	170.524 €
1V30°	82.537 €	229.625 €	92.565,68 €	-2.129 €	310.033 €	172.974 €
3H30°	82.438 €	226.906 €	91.436,04 €	-2.293 €	307.051 €	171.581 €
2V45°	82.328 €	224.079 €	90.411,74 €	-2.835 €	303.571 €	169.904 €
1V45°	82.319 €	225.777 €	91.086,70 €	-2.316 €	305.781 €	171.090 €
3H45°	82.288 €	223.876 €	90.325,89 €	-3.650 €	302.513 €	168.963 €
2V60°	81.783 €	211.215 €	85.045,51 €	-2.994 €	290.004 €	163.835 €
1V60°	81.783 €	210.914 €	84.917,32 €	-2.386 €	290.310 €	164.314 €
3H60°	81.699 €	210.529 €	84.746,45 €	-3.134 €	289.094 €	163.311 €
2V75°	80.978 €	186.562 €	74.824,32 €	-3.261 €	264.279 €	152.542 €

Implantaciones	Ahorro coste eléctrico	Ingresos de la venta de excedentes (2022)	Ingresos de la venta de excedentes (2023)	Disminución de los ingresos por la venta de vino	Flujo de fondos 2022	Flujo de fondos 2023
1V75º	80.832 €	185.353 €	74.302,59 €	-2.386 €	263.798 €	152.748 €
3H75º	80.870 €	185.424 €	74.330,33 €	-2.890 €	263.403 €	152.310 €
SEGUIDOR N-S	85.277 €	280.380 €	117.794,65 €	-3.134 €	362.523 €	199.938 €

8.3 COSTE DE EJECUCIÓN DE LOS SISTEMAS AV

En este apartado se va a realizar una estimación de la inversión necesaria para la instalación de los diferentes sistemas agrovoltaicos analizados y de las infraestructuras necesarias para la conexión a la red de distribución. A continuación, se desglosa el presupuesto de ejecución material (PEM) en tres partidas diferentes:

- El PEM estimado de las infraestructuras de evacuación es común a todas las implantaciones
- Partidas comunes del PEM de los sistemas agrovoltaicos.
- Partidas Particulares del PEM cada instalación analizada.

8.3.1 Coste de las infraestructuras de conexión a red

Estas infraestructuras de conexión a red consisten en un centro de seccionamiento que hará de punto frontera con la red de distribución y una línea subterránea de entrada y salida a la red de MT que da el servicio eléctrico a la bodega. A continuación, se presenta el presupuesto estimado de estas infraestructuras:

Tabla 46: Presupuesto de ejecución material de las infraestructuras de conexión a red.

CENTRO DE SECCIONAMIENTO	
RECINTO DISTRIBUIDORA	
1. Obra civil	6.157,34 €
2. Montaje electromecánico	18.861,00 €
Presupuesto de ejecución material CS-RECINTO DISTRIBUIDORA	25.018,34 €
RECINTO PROMOTOR	
1. Obra civil	6.157,34 €
2. Montaje electromecánico	21.853,11 €
Presupuesto de ejecución material CS-RECINTO PROMOTOR	28.010,46 €
Presupuesto de ejecución material CENTRO DE SECCIONAMIENTO	53.028,80 €
LÍNEA SUBTERRÁNEA DE ENTRADA Y SALIDA EN CENTRO DE SECCIONAMIENTO	
1. Obra civil	2.332,62 €
2. Cable/Accesorios/Varios	9.640,00 €
Presupuesto de ejecución material tramo E-S en CS	11.972,62 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	65.001,42 €

8.3.2 Coste de los sistemas Agrovoltaicos

Se han estimado unos costes generales que son iguales para todas las implantaciones salvo en el caso relativo al coste de las estructuras fotovoltaicas y su instalación. Para las implantaciones con una inclinación de 30° y con seguidor, se han obtenido precios reales de mercado, mientras que para el resto de implantaciones que carecen de precios de mercado pues no existe modelos comerciales, se ha estimado en base a los requerimientos estructurales y a las necesidades del hincado de las mismas.

8.3.2.1 Partidas comunes del Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Tabla 47: Partidas comunes del PEM.

PRESUPUESTO PARTIDAS COMUNES	
CONCEPTO	PRECIO
Obra civil	47.839 €
Centros de transformación e inversores	72.193 €
Conductores C.C.	2.658 €
Conductores C.A	23.100 €
Sistema de vigilancia	34.296 €
Varios	19.286 €
Monitoring & Control	8.193 €
Presupuesto de ejecución material de las partidas comunes	207.566 €

8.3.2.2 Partidas particulares del Presupuesto de Ejecución Material PEM

A continuación, se muestran los costes de suministro, hincado y montaje de la estructura y los módulos fotovoltaicos.

Tabla 48: Partidas particulares del PEM

Implantaciones	Coste
2H90°	394.241 €
1V75°	433.216 €
2V75°	450.605 €
3H75°	450.800 €
1V60°	418.349 €
2V60°	437.558 €
3H60°	436.996 €
1V45°	353.569 €
2V45°	365.622 €
3H45°	365.291 €
1V30°	340.515 €
2V30°	359.125 €
3H30°	358.781 €
Seguidor N-S	376.771 €

8.3.2.3 Coste total

A continuación, se presenta una tabla con los valores finales de los presupuestos de ejecución material para cada instalación agrovoltaica (incluidas las infraestructuras de conexión a red) y el coste total de ejecución de cada instalación que incluye los gastos generales y de dirección de obra (13%), así como, el beneficio industrial (6%).

Tabla 49: Costes totales de ejecución de las instalaciones agrovoltaicas.

Implantaciones	PEM	Dirección de obra (13%)	Beneficio industrial (6%)	Total Ejecución
2H90°	666.808,42 €	86.685,09 €	40.008,51 €	793.502 €
1V75°	705.783,42 €	91.751,84 €	42.347,01 €	839.882 €
2V75°	723.172,42 €	94.012,41 €	43.390,35 €	860.575 €
3H75°	723.367,42 €	94.037,76 €	43.402,05 €	860.807 €
1V60°	690.916,42 €	89.819,13 €	41.454,99 €	822.191 €
2V60°	710.125,42 €	92.316,30 €	42.607,53 €	845.049 €
3H60°	709.563,42 €	92.243,24 €	42.573,81 €	844.380 €
1V45°	626.136,42 €	81.397,73 €	37.568,19 €	745.102 €
2V45°	638.189,42 €	82.964,62 €	38.291,37 €	759.445 €
3H45°	637.858,42 €	82.921,59 €	38.271,51 €	759.052 €
1V30°	613.082,42 €	79.700,71 €	36.784,95 €	729.568 €
2V30°	631.692,42 €	82.120,01 €	37.901,55 €	751.714 €
3H30°	631.348,42 €	82.075,29 €	37.880,91 €	751.305 €
Seguidor N-S	649.338,42 €	84.413,99 €	38.960,31 €	772.713 €

8.4 EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN TIR, VAN Y RETORNO

Para el cálculo del TIR, VAN y el retorno de la inversión, se ha tenido en cuenta el impuesto a la producción de electricidad del 7%. La evaluación de la inversión se ha realizado para una vida útil de la instalación de 25 años. se han estimado los siguientes parámetros:

Tabla 50: Parámetros estimados para evaluar la inversión.

Tasa de descuento	3,5%
Inflación	2,5%
Tasas y licencias	4% del coste de ejecución
seguro (anual)	10.000,00 €
Operación y Mantenimiento, inc. materiales (anual)	15.000,00 €

Tabla 51: Valores de TIR, VAN y retorno.

	TIR	VAN	RETORNO (años)
2H90° - A	12,28%	903.900,00 €	7,62
2H90°- B	12,14%	887.240,00 €	7,69
2V30°	17,67%	1.474.425,00 €	5,53
1V30°	18,59%	1.536.184,00 €	5,28
3H30°	17,81%	1.491.416,00 €	5,49
2V45°	17,39%	1.456.780,00 €	5,61
1V45°	17,92%	1.490.542,00 €	5,46
3H45°	17,27%	1.441.672,00 €	5,65
2V60°	14,70%	1.273.477,00 €	6,54
1V60°	15,24%	1.305.308,00 €	6,33
3H60°	14,65%	1.265.834,00 €	6,56
2V75°	13,05%	1.081.998,00 €	7,25
1V75°	13,47%	1.107.519,00 €	7,05
3H75°	13,02%	1.078.491,00 €	7,26
SEGUIDOR N-S	20,52%	1.909.084,00 €	4,74

Los resultados muestran como todas las instalaciones presenta unos altos porcentajes de TIR y VAN y un tiempo de retorno de la inversión de entre 4,76 años de la implantación constituida por seguidores solares y 7,69 de la implantación de estructuras verticales 2H90°-B.

No obstante, hay que tener en cuenta, que los resultados obtenidos de la evaluación de la inversión a 25 años se han obtenido en base a los flujos del año 2023. Por lo tanto, no se ha tenido en cuenta la posible disminución de los precios de la electricidad a medio y largo plazo.

9 CONCLUSIONES

El desarrollo en España, uno de los mayores productores de vino del mundo, de la agrovoltaica en el sector vitivinícola no solo en base a pequeñas implantaciones de autoconsumo, si no para instalaciones de mayor tamaño como las analizadas en el presente trabajo, no solo ayudaría a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivados de la producción del vino, si no a transformar los viñedos en polos de generación eléctrica, reduciendo por un lado los costes de la producción del vino y generando ingresos alternativos, sin olvidar los beneficios de estos sistemas en la protección del cultivo frente a fenómenos climáticos extremos, que cada vez son más frecuentes.

En el presente Trabajo Final de Máster se han diseñado diferentes implantaciones agrovoltaicas con una potencia fotovoltaica 1,3 MWp y una potencia en inversores de 1,125 MW, en un viñedo. La energía procedente de las implantaciones agrovoltaicas se utilizará para alimentar los consumos de la bodega, para lo que se ha obtenido y analizado la energía horaria real consumida por una bodega. Los excedentes existentes se evacuarán a la red de distribución y se venderán a mercado.

Para conocer los efectos del sombreado sobre el cultivo de la vid se ha recurrido a diferentes estudios, aunque cabe destacar que la falta de investigaciones que analicen los efectos del sombreado sobre la viña que permitan determinar con precisión los efectos del sombreado de estas estructuras. Sin embargo, los estudios examinados coinciden en indicar que la disminución de la radiación solar directa en la viña de hasta un 30% no conlleva una merma del rendimiento de la cosecha ni en una reducción de la calidad del vino. Al mismo tiempo, esta reducción proporciona protección contra temperaturas extremas y evita daños en las uvas causados por una exposición solar excesiva.

El análisis de los sombreados generados por las estructuras fijas muestra que, en base a las implantaciones diseñadas, los únicos sistemas que presentan sombreamientos sospechosos de producir un impacto negativo sobre el rendimiento y la calidad de algunas filas de vides son las implantaciones constituidas por estructuras fijas 2V60°, 2V75° y 3H75°. En el caso de los seguidores solares N-S tanto la distancia a las vides como su orientación y el hecho que sean sistemas dinámicos cuya inclinación puede

ser modificada si es necesario, limita en gran medida que se produzcan sombreamientos excesivos.

El análisis de la producción de los diversos sistemas agrovoltaicos revela que, a nivel anual, todos generan excedentes. La producción varía según la inclinación de las instalaciones, como es lógico las estructuras verticales son las menos eficientes, mientras que la instalación constituida seguidores solares la que mayor producción eléctrica tiene. La generación de excedentes, consecuentemente, mantiene esta tendencia destacando, entre las demás instalaciones, la instalación con seguimiento solar (1245 MWh/año) que genera un 35% más de excedentes eléctricos que la instalación 1V30°, la estructura fija que mejor rendimiento eléctrico presenta. Durante los primeros meses del año (meses de bajo consumo) las instalaciones con mayores inclinaciones (60° y 75°) muestran un mejor comportamiento respecto a la instalación de seguidores solares. Por otro lado, de marzo a mayo, la instalación agrovoltaica de seguidores solares superan en producción al resto de instalaciones analizadas. Lo anterior se mantiene durante los meses de verano, cuando la instalación de seguidores solares presenta una mayor producción eléctrica que el resto de las instalaciones analizadas. En los meses de mayor consumo, de agosto a octubre, la instalación de seguidores solares es inicialmente la que tiene una mayor producción eléctrica, pero es la instalación agrovoltaica constituida por estructuras fijas a 45° la que presenta la mayor producción en octubre.

El análisis de las producciones del cultivo de las implantaciones agrovoltaicas revela que la configuración agrovoltaica con estructuras verticales (2H90°-B) es la que menos afecta a la producción del viñedo, con una reducción del 34% del rendimiento de este. En segundo lugar, la implantación constituida por estructuras 2V75° presenta una producción de 10.053 kg de uva, un 35% menos que en el caso del viñedo sin instalaciones agrovoltaicas. En el lado opuesto la implantación con estructuras 3H60° presenta la mayor reducción de rendimiento del cultivo con un 59%, seguida de la implantación constituida por estructuras 1V30° y por seguidores fotovoltaicos, ambas con una disminución del 51% en la producción del viñedo.

En cuanto al análisis económico se ha comprobado que todas las implantaciones generan importantes beneficios por el ahorro en el consumo eléctrico y la venta de los excedentes, que compensan con creces la disminución de los ingresos por la menor producción del viñedo. La implantación con seguidores solares es la que muestra un

mayor beneficio económico anual con cerca de 200.000 €, pero es reseñable que la implantación que menos beneficio genera, al producir menos energía, la constituida por estructuras verticales 2H90^o-B presenta un beneficio anual superior a los 135.000 €. Todo lo anterior unido a un coste de ejecución de estas instalaciones de entre 729.568€ (1V30^o) y 860.807€ (3H75) da como resultado que el tiempo necesario para recuperar la inversión está entre los 4,74 años de la implantación con seguidores y los 7,69 años de la implantación 2H90-B, presentando todas buenos valores de TIR y VAN.

En conclusión, a lo largo del presente proyecto se han diseñado diferentes implantaciones agrovoltaicas y se han analizado sus posibles efectos sobre el cultivo, así como las producciones eléctricas y por tanto los beneficios económicos en la reducción del coste eléctrico y la venta de electricidad. La elección del sistema optimo, dependerá de si lo que se busca es una menor afección al cultivo buscando preservar en la medida de lo posible su capacidad productiva, o lo que se busca es maximizar los ingresos económicos. Todas las implantaciones agrovoltaicas analizadas muestran una reducción en la producción del cultivo, sin embargo, también se muestran como una oportunidad para mitigar los efectos nocivos del cambio climático sobre el cultivo de la vid, así como una forma de reducir los costes y obtener beneficios extras que permitan mejorar la situación de los viticultores. Todo ello sin perder de vista, que el viñedo analizado no llega a las 3 hectáreas cuando una gran parte de las bodegas disponen de decenas, para a la producción de vino.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] La Acción por el clima y el Pacto Verde. Consultado en soporte electrónico: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal_es (Accedido en noviembre de 2023)
- [2] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. Consultado en soporte electrónico: <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/plan-nacional-integrado-de-energia-y-clima-pniec-2021-2030> (Accedido en noviembre de 2023)
- [3] Borrador Actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Consultado en soporte electrónico. <https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Paginas/DetalleParticipacionPublica.aspx?k=236> (Accedido en noviembre de 2023)
- [4] La solar fotovoltaica ya produce en 2023 más electricidad que en todo el año 2022. Consultado en soporte electrónico: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/09/la-solar-fotovoltaica-ya-produce-en-2023-mas-electricidad-que-todo-ano-2022#:~:text=Según%20las%20previsiones%20de%20Red%20Eléctrica%2C%20la%20electricidad,el%20año%202022%2C%20que%20fue%20de%2027.902%20GWh.> (Accedido en noviembre de 2023)
- [5] Martínez, A.; Aleixandre Tudó, J.L.; Aleixandre Benavent, J.L. (2016). Efectos de los fenómenos producidos por el cambio climático sobre la calidad de los vinos. *Enovicultura*. N°42 pp. 4-26.
- [6] Pablo Resco Sánchez, "Viticultura y Cambio climático en España: Vulnerabilidad en las distintas regiones y estrategias de adaptación frente al desarrollo de nuevas políticas". Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid (2015) pp 35-56.
- [7] Leonor Ruiz-García, Pascual Romero, Manuel Tornel, Cristina Menéndez Menéndez, Félix Cabello y Adrián Martínez-Cutillas (2018). Capítulo V. La viticultura frente al cambio climático: adaptación y estrategias de mejora pp. 165-196.

- [8] Iberdrola pone en marcha en Toledo la primera planta agrovoltaica inteligente de España. Consultado en soporte electrónico: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-pone-en-marcha-en-toledo-la-primer-planta-agrovoltaica-inteligente-de-espana> (Accedido en noviembre de 2023)
- [9] Consultado en soporte electrónico: <https://sunagri.fr/> (Accedido en noviembre del 2023)
- [10] Case Study: Sunzaun Vertical Solar System. Consultado en soporte electrónico: <https://www.agrisolarclearinghouse.org/case-study-sunzaun-vertical-solar-system/> (Accedido en noviembre de 2023)
- [11] Vertex 555W TSM-DEG19C.20. Consultado en soporte electrónico: <https://www.trinasolar.com/lac/product/VERTEX-DEG19C.20>
- [12] Inversor fotovoltaico string SG125HX. Consultado en soporte electrónico: <https://spa.sungrowpower.com/productDetail/2274> (Accedido en noviembre de 2023).
- [13] Cuadro de baja tensión para agrupación de inversores de string. Consultado en soporte electrónico: <https://pronutec.gorlan.com/productos/cuadros-de-bt-para-agrupacion-de-inversores-de-string/> (Accedido en noviembre de 2023)
- [14] Transformadores de distribución Ormazabal. Consultado electrónicamente: <https://www.ormazabal.com/product/transforma-smart/> (Accedido en noviembre de 2023)
- [15] Celdas de distribución secundaria Ormazabal. Consultado electrónicamente: <https://www.ormazabal.com/product/cgm-3/> (Accedido en noviembre de 2023)
- [16] Álvaro Aritz Bujanda, “Diseño de una plantación de vid”. Trabajo Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra (2014).
- [17] Sergio Ibáñez, Luis Rivacoba y Enrique García Escudero (2022). Prácticas Vitivinícolas de adaptación al cambio climático. Vida rural, ISSN 1133-8938, Nº 511, 2022, pp. 50-58.

[18] Dennis H. Greer, Mark M. Weedon and Chris Weston (2011). Reductions in biomass accumulation, photosynthesis in situ and net carbon balance are the costs of protecting *Vitis vinifera* 'Semillon' grapevines from heat stress with shade covering.

[19] Hao-Cheng Lu, Wei Wei, Yu Wang, Chang-Qing Duan, Wu Chen, Shu-De Li and Jun Wang (2021). Effects of sunlight exclusion on leaf gas exchange, Berry composition, and wine flavour profile of Cabernet-Sauvignon from the foot of the north side of Mount Tianshan and a semi-arid continental climate.

[20] Herramienta de posición solar. Consultado electrónicamente: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es (Accedido en noviembre de 2023).

[21] Consultado en soporte electrónico: <https://www.esios.ree.es/es> (Accedido a noviembre de 2023).