



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

INGENIERÍA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**Análisis de la tecnología solarsharing,
tendencia energética en Japón.**

Alumno: D^a. Alejandra de Dios Cámara

Director: D. Luis Perezagua

JUNIO 2022

Alejandra de Dios Cámara

TÍTULO: Análisis de la tecnología solarsharing, tendencia energética en Japón.

AUTOR: ALEJANDRA DE DIOS CÁMARA

DIRECTOR DEL PROYECTO: LUIS PEREZAGUA PEREZ

FECHA: 21 de 06 de 2022

Alejandra de Dios Cámara

RESUMEN

En este proyecto se plantea la problemática emergente de la demanda energética global, teniendo que cumplir las nuevas medidas de descarbonización energética. Para ello, es necesaria la disposición de terreno, para poder implementar el uso de las energías limpias, suponiendo esto una gran problemática en países con escasez de espacio cómo es el caso de Japón.

Este dilema afecta directamente a la hora de construir mega plantaciones solares, para erradicar el consumo de combustibles fósiles, o de disponer de grandes terrenos, para implementar la agricultura.

El presente proyecto contiene todas las especificaciones necesarias para desarrollar la tecnología agrosolaring. Esta tecnología combina la energía fotovoltaica con cultivo agrícola en el mismo terreno, por lo cual conlleva gran ahorro de espacio entre otros beneficios.

Esta tecnología estará emplazada en Japón, en la región de Chubu. Para la implementación de esta central, primero se estudia este tipo de tecnología, analizando la problemática que solventaría y los beneficios que conlleva. Después se estudian todas las características técnicas de este emplazamiento, como el clima y la radiación de la zona, realizando una simulación del proyecto para poder estudiar el impacto y los beneficios que se obtendrían.

Con este proyecto, se va a poder solventar el problema de la falta de espacio, a la vez que se suministra electricidad a toda la región de Chubu y se abastece de cultivo de té al país, llegando a generar lo suficiente para poder exportar.

Palabras clave: Energía renovable, Agrosolaring, cultivo, innovación, fotovoltaica.

ABSTRACT

This project raises the emerging problem of global energy demand, having to comply with the new energy decarbonization measures. For this, the provision of land is necessary, to be able to implement the use of clean energies, assuming this is a great problem in countries with a shortage of space, as is the case of Japan.

This dilemma directly affects the time to build mega solar plantations, to eradicate the consumption of fossil fuels, or to have large lands, to implement agriculture.

This project contains all the necessary specifications to develop agrosolaring technology. This technology combines photovoltaic energy with agricultural cultivation on the same land, which leads to great space savings among other benefits.

This technology will be located in Japan, in the Chubu region. For the implementation of this plant, this type of technology is first studied, analyzing the problems it would solve and the benefits it entails. Later, all the technical characteristics of this site will be studied, such as the climate and radiation of the area, carrying out a simulation of the project in order to study the impact and the benefits that would be obtained.

With this project, it will be possible to solve the problem of lack of space, while supplying electricity to the entire Chubu region and supplying tea cultivation to the country, generating enough to be able to export.

Keywords: Renewable energy, Agrosolaring, cultivation, innovation, photovoltaic.

ÍNDICE

1. Introducción	10
1.1 Planteamiento del problema	10
1.2 Objetivo	11
1.3 Alcance	12
1.4 Estructura del proyecto	13
2. Antecedentes	14
2.1 Situación energética actual.	14
2.2 Necesidades actuales.	17
3. Descripción de energía agro-fotovoltaica	18
3.1 Evolución de la tecnología agrofotovoltaica	18
3.2 Tecnología solar	18
3.3 Tecnología agro-voltaica	19
3.4 Análisis DAFO	21
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	22
4.1 Emplazamiento	22
4.2 Antecedentes y Justificación	25
4.3 Datos climatológicos	26
4.4 Impacto medioambiental.	28
5. Ingeniería básica y Diseño	30
5.1 Diseño de la planta	30
5.2 Cultivo	35
5.3 Estructura fotovoltaica.	38
5.3.1 Núcleos fotovoltaicos	38
5.3.2 Inversor	46
5.3.3 Cableado	47
5.3.4 Producción anual esperada	52
6. Organización de la obra	53
6.1 Planteamiento de la Obra	53
6.2 Recepción provisional y definitiva. Puesta en marcha	55

Alejandra de Dios Cámara

6.3	Plan de Mantenimiento	55
7.	Estudio de viabilidad económica.	57
7.1	Estudio costes	57
7.2	Estudio Beneficios.	60
7.2.1	Agricultura	60
7.2.2	Energía fotovoltaica	60
7.3	Viabilidad	61
i.	TIR y VAN	62
8.	Pliego de condiciones	63
8.1.	Política energética de Japón	63
8.2.	Seguridad	64
8.2.1.	En el Trabajo	65
8.2.2.	Según Ordenanzas	65
8.3.	Legislación y normativa aplicable	66
8.4.	Condiciones de ejecución	67
9.	Conclusiones	68
10.	Bibliografía	69
	ANEXOS	73

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Energía por combustibles ¹⁸	19
Tabla 2: Análisis DAFO.	25
Tabla 3: Cableado corriente continua.	56
Tabla 4: cableado corriente alterna.	57
Tabla 5: Plazos de puesta en marcha de la central.	60
Tabla 6: Costes Fijos.	64
Tabla 7: Costes Variables.	65

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Evolución de emisiones CO2 de 2009 a 2021 ¹	14
Figura 2: Consumo de electricidad per cápita 2021	15
FIGURA 3: Comparativa combustibles fósiles.	16
Figura 4 : Optimización del espacio con tecnología agro-voltaica.	20
Figura 5 : Región de Chūbu, Shizuoka. ⁵	22
Figura 6: Mapa topográfico ⁶	23
Figura 7: Terreno de emplazamiento.	24
Figura 8: Extensión de la parcela.	24
Figura 9: Explotación agrícola bajo estructuras en altura.	30
Figura 10: Explotación agrícola entre filas.	31
Figura 11: Explotación agrícola de forma Invernaderos.	32
Figura 12: Efecto invernadero.	33
Figura 13: Estructura de la central agro-fotovoltaica.	34
Figura 14: Cultivo de té en invernadero. ¹⁹	35
Figura 15: Sistema de riego por aspersión ⁸	37
Figura 16: Funcionamiento de un panel bifacial. ⁸	40
Figura 17: Estudio de la posición de las placas. ¹⁰	42
Figura 18: Posicionamiento de las placas.	44

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Clima	72
ANEXO II - Simulación placas	74
ANEXO III - Ficha técnica inversor	79
ANEXO IV – Ficha técnica placas fotovoltaicas	81

1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

En el presente trabajo se plantean los problemas a la hora de implementar una central fotovoltaica o de disponer de grandes tierras de cultivo.

Existe una necesidad urgente de buscar alternativas a los combustibles fósiles para frenar el cambio climático y los conflictos que este desencadena, siendo este uno de los problemas principales que se intentan solucionar con este proyecto. La energía fotovoltaica es una energía limpia, por lo que no libera emisiones de carbono proveniente de la radiación del sol que impacta sobre la tierra.

Las plantas fotovoltaicas han experimentado una expansión en todo el mundo a nivel exponencial, suponiendo una mejora medioambiental, fomentando la energía verde y la erradicación del consumo de combustibles fósiles. Como contrapartida, la expansión de este sector supone una gran ocupación de terreno debido a las megacentrales solares necesarias para cubrir la demanda de toda la población. Asimismo, hay otros sectores que requieren gran cantidad de espacio, en particular el sector de la ganadería y agricultura, necesitando estos unos terrenos muy particulares. Este problema, afecta a gran escala a los países más pequeños, careciendo estos de espacio para poder desarrollar todas estas tecnologías que ocupan gran cantidad de espacio.

En este sentido, se plantea el problema de la falta de espacio a la hora de construir plantas solares en grandes dimensiones, necesarias para disminuir los niveles de descarbonización, y aumentar la independencia económica con el problema de falta de espacio compitiendo al mismo tiempo con sectores como el agrario.

Con miras a precisar una solución a este problema, se desarrolla un modelo agro-fotovoltaico basado en la fusión de la tecnología solar y la agricultura, desarrollando ambos sectores. En el presente trabajo se plantea la inclusión del sector agrario implementando el desarrollo sostenible de las energías renovables, en este caso, la energía solar.

1.2 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es intentar reunir dos grandes sectores de la sociedad y economía: la agricultura y las energías renovables, basándose en la optimización del espacio y energía.

Por un lado, uno de los objetivos de este proyecto es solventar el problema que ocasionan los combustibles fósiles, como los gases contaminantes que sueltan a la atmósfera alterando así el efecto invernadero. Este problema se intenta remediar mediante la energía fotovoltaica, ya que es una fuente natural con un mantenimiento asequible e ilimitado de bajo costo. De esta manera, se intenta mejorar la confianza en este tipo de energía, realizando un proyecto fiable de altos beneficios, que cubra necesidades que antes cubrían energías con muchos efectos adversos.

A este respecto, se ofrece un impulso al desarrollo rural sostenible protegiendo la biodiversidad y el ecosistema, mejorando las condiciones laborales bajo las que se encuentra el sector agrario, y desarrollando una mejor formación. Este proyecto tiene miras de mejorar las condiciones laborales bajo las que trabajan la mayoría de los agricultores, proporcionándoles formación sobre energía fotovoltaica. De esta manera, se crearía un trabajo más cualitativo, fomentando el desarrollo y la demanda de este.

Se plantea abarcar dos de los grandes problemas que tenemos en la actualidad, a saber: la producción de alimentos y la producción de electricidad, poniendo como objetivo erradicar otro problema que suele conllevar la producción de ambos, la falta de espacio.

En conclusión, los principales objetivos de este proyecto es generar una plantación de energía limpia que no sea perjudicial para el medio ambiente y pueda abastecer a un alto número de individuos de energía. Esta metodología se plantea combinar con el sector agrícola, realizando una mejora de las plantaciones fotovoltaicas convencionales adaptándola a las necesidades del sector agrario. Asimismo, se consigue mejorar las condiciones y la productividad de una planta agraria a la vez que se crea energía limpia innovando en este sector.

1.3 Alcance

El alcance de este proyecto se basa en los pasos que hay que seguir para solucionar los problemas planteados y llegar al objetivo. Estos pasos abarcan los estudios necesarios para analizar la posibilidad y beneficio de la instalación de una planta agro-fotovoltaica, con capacidad para abastecer tanto el consumo eléctrico de la zona como el consumo de Té suficiente para poder exportar.

De este modo, se realizan los siguientes estudios:

- Estudio sobre la localización, encontrando la ubicación más ventajosa para el desarrollo del proyecto, examinando así tanto los impactos medioambientales como sociales que van a ser afectados. Para el correcto funcionamiento de este proyecto es muy importante estudiar la radiación solar de la localización, ya que afectan directamente al rendimiento de la central agro-fotovoltaica.
- Estudio de Ingeniería Básica sobre el diseño del proyecto y las necesidades que requiere, realizando una simulación del proyecto para escoger el material más ventajoso que va a optimizar su funcionamiento. En este apartado se estudia el funcionamiento de ambas secciones del proyecto, tanto la parte fotovoltaica como la parte agraria, estudiando todos sus componentes y el funcionamiento que van a llevar a cabo.
- Estudio económico del proyecto, analizando así el presupuesto necesario para que este se lleve a cabo.
- Estudio de desarrollo del proyecto, estableciendo los plazos estimados para la puesta en marcha de la central agro-fotovoltaica, y las medidas necesarias que hay que llevar en esta puesta en marcha.
- Estudio sobre la legalidad del proyecto y la normativa aplicable, fijando las normas básicas que se han de seguir para la realización de este, teniendo en cuenta la seguridad de los trabajadores. Para ello se realiza un estudio de la evolución de la legislación energética en la región seleccionada, debido a que está ha pasado por una metamorfosis pronunciada por acontecimientos que se han dado. De esta manera es mucho más sencillo entender la legislación actual sobre la energía en la región.

1.4 Estructura del proyecto

El contenido de cada capítulo de este proyecto se resume en lo siguiente:

En primer lugar, se detalla una imagen global de la situación actual a nivel energía en el mundo, haciendo un análisis de las necesidades perceptibles que existen.

Una vez explicados estos conceptos a grandes rasgos, se define la tecnología que se va a desarrollar en este proyecto, siendo un tipo de energía renovable llamada energía agrofotovoltaica. Esta energía es una fusión entre la tecnología solar con campos de cultivo agrícolas, por lo que se definen ambas tecnologías realizando un análisis DAFO de la conjunta.

En el siguiente punto, se define el proyecto en cuestión estableciendo su emplazamiento, los antecedentes que han llevado a cabo este proyecto y algunas características que afectan directamente al mismo como los datos climatológicos o el impacto medioambiental que éste va a desempeñar.

Para la realización del proyecto es necesario definir la ingeniería básica y diseño, por lo que en el punto 5 se desarrolla el diseño de la planta, definiendo los tipos de estructuras que existen para esta tecnología. Se hace un estudio exhaustivo del cultivo que se va a llevar a cabo y de la tecnología fotovoltaica que se va a implementar. Se definen las características de las placas los inversores y se hacen estudio de la cantidad de cableado necesaria dadas las circunstancias de la central.

A continuación, se hace un estudio de la organización de la obra planteando los plazos y la puesta en marcha y trazando un plan de mantenimiento que ha de llevarse para la conservación de esta.

Por último, se realiza un estudio de viabilidad económica evaluando todos los costes y los beneficios que conllevará dicha central, para finalizar cómo se establece el pliego de condiciones dictando la seguridad en el trabajo y según ordenanzas las condiciones de ejecución y los certificados y documentaciones que hay que llevar a cabo.

2. Antecedentes

A fin de entender la necesidad crítica de este proyecto, resulta conveniente abordar un análisis previo sobre la situación energética actual y las necesidades de la sociedad. En este sentido, se habla de una crisis energética a nivel mundial, debido al sobreuso energético, siendo las principales fuentes de abastecimiento los combustibles fósiles.

2.1 Situación energética actual.

Así las cosas, para poder analizar la situación energética actual, es necesario destacar los acontecimientos de los años anteriores.

En el año 2019, tuvo lugar una pandemia mundial provocada por el COVID -19. Se trata de una enfermedad infecciosa provocada por el virus SARS-CoV-2, que se padeció a nivel mundial. Debido a esta crisis sanitaria, se tomaron medidas de contención, verbigracia, el cierre de fábricas y oficinas.

A nivel energético, se apreció una cierta mejora a la hora de analizar las emisiones de CO₂, dado que, al estar toda la industria paralizada, estas emisiones disminuyeron a nivel exponencial en el año 2020. Al analizar los años siguientes, podemos observar que, con la reapertura de toda la industria, estas emisiones crecen rápidamente, creando una crisis climática.

En la siguiente imagen se muestra la evolución de las emisiones de CO₂ desde el año 2009 hasta el año 2021.

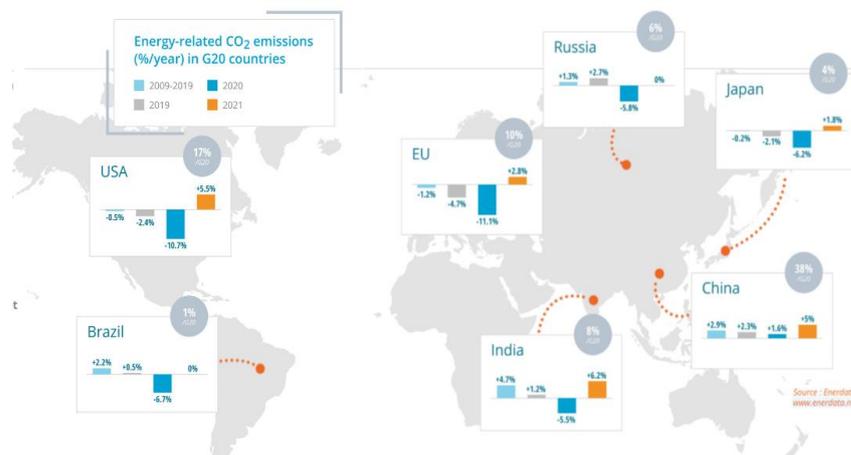


FIGURA 1: EVOLUCIÓN DE EMISIONES CO₂ DE 2009 A 2021¹

Alejandra de Dios Cámara

Se puede observar cómo estas emisiones disminuyen exponencialmente en el año 2020 debido a la detención de actividad industrial que se dio.

En 2021 con la reapertura y puesta en funcionamiento de toda la industria, se aprecia el repunte de estas emisiones.

Por su parte, la invasión rusa de Ucrania en 2022 podría suponer otra crisis energética. Rusia es uno de los países en el que se encuentran las mayores reservas de energía fósil del mundo.

Esta crisis energética proviene principalmente de las prohibiciones de circulación, lo cual afecta principalmente a países en los que se asientan las economías más desarrolladas, siendo estos Estados Unidos, Europa y Japón.³

El consumo de electricidad per cápita global en el año 2021 es el siguiente:

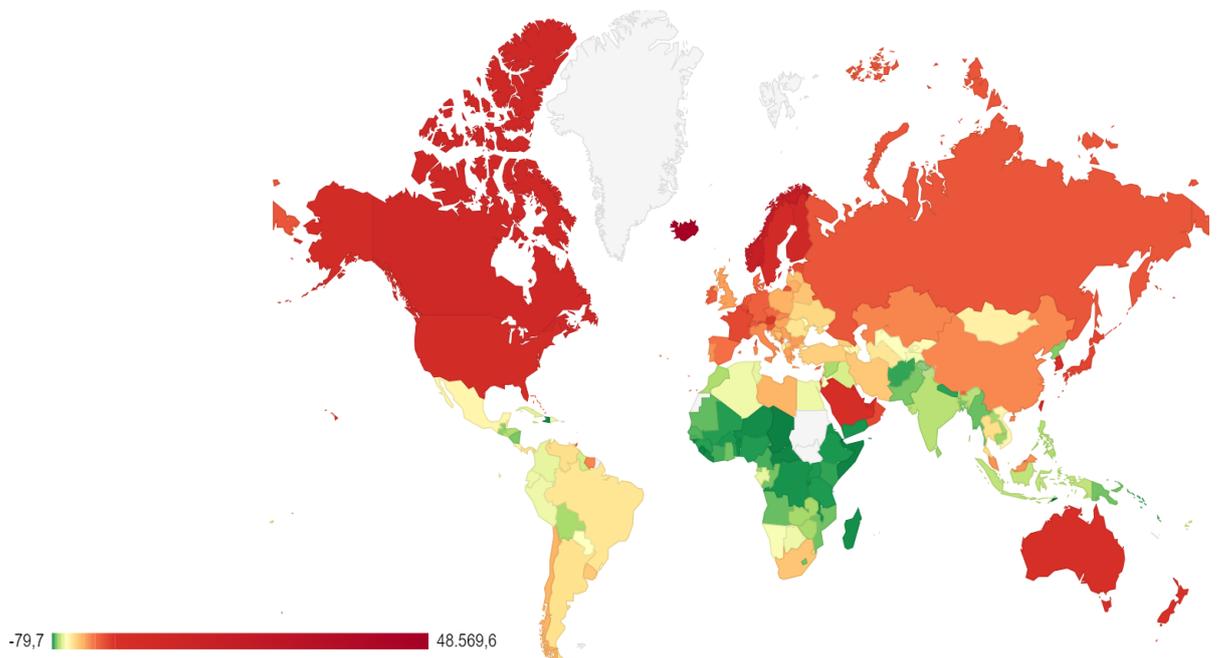


FIGURA 2: CONSUMO DE ELECTRICIDAD PER CÁPITA 2021²

Alejandra de Dios Cámara

Actualmente, el consumo global de energía es desmedido, siendo un total de 15 Teravatios de energía al año (1TW = 10^{12} vatios).

Toda esta energía está producida por diferentes combustibles:

Tipo de combustible	Potencia en TW
Petróleo	5,6
Gas	3,5
Carbón	3,8
Nuclear	0,9
Hidroeléctrica	0,9
Geotérmica, eólica, solar, biomasa	0,13
Total	15

TABLA 1: ENERGÍA POR COMBUSTIBLES¹⁸

A pesar de que la población es dependiente de los combustibles fósiles, las energías renovables están en pleno auge de desarrollo. En 2021 se generaron 298 gigavatios de nueva capacidad de energía renovable, rompiendo el récord de innovación. Por el contrario, el 80% del consumo energético mundial proviene de los combustibles fósiles.

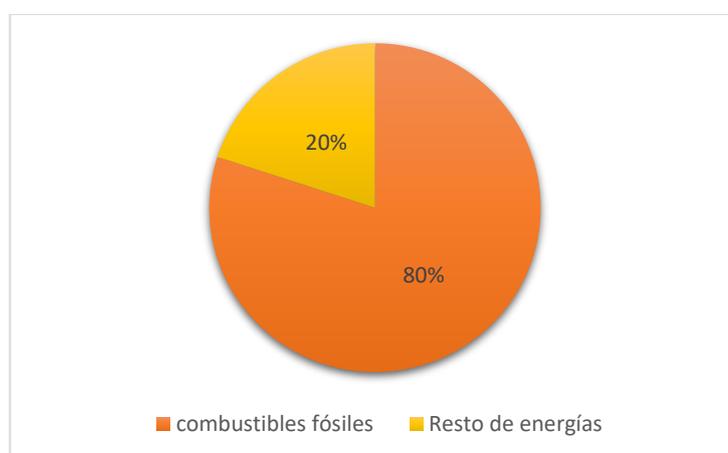


FIGURA 3: COMPARATIVA COMBUSTIBLES FÓSILES.

2.2 Necesidades actuales.

En relación con las necesidades contemporáneas, podríamos describir la situación actual, basada en el consumo de energías fósiles, como inestable y problemática debido a las siguientes cuestiones:

- El agotamiento de los recursos fósiles. Las energías fósiles es un recurso limitado que está llegando a su fin, por lo que es muy urgente buscar algún tipo de alternativa que sea menos contaminante e ilimitado.
- El impacto medioambiental que conllevan los recursos fósiles. Los recursos fósiles conllevan un alto impacto medioambiental por las emisiones de dióxido de carbono que suponen.
Las altas emisiones de dióxido de carbono han supuesto las subidas de temperaturas a nivel global, o lo que es lo mismo el calentamiento global. Esto es denominado el cambio climático lo que supone que se estén derritiendo los polos terrestres entre otras características que se están desencadenando
- La exportación de la energía depende de los derechos de circulación, variando estos con los conflictos sociales. Esto crea la necesidad de crear una fuente de energía para fomentar el autoconsumo de los países, generando cada país su propia energía.
- Lluvia ácida debido a la combustión de estos. La lluvia ácida provoca el deterioro de ciertos materiales y la intoxicación de ciertos cultivos.

Debido a esta situación, existe una necesidad perentoria de inversión en energías renovables, dado que no conllevan tanta problemática y son mucho más limpias.

Aparte de ello, la mayoría son ilimitadas por lo que si se invierte en ellas va a ser una inversión a largo plazo.

3. Descripción de energía agro-fotovoltaica

La tecnología agrovoltaica o agrofotovoltaica consiste en la fusión de la tecnología fotovoltaica y el sector agrario en el mismo terreno.

Para la correcta comprensión de este término es necesario definir previamente los beneficios de la energía solar, así como los beneficios que tiene esta frente a otras energías.

Antes de definir ambas tecnologías, se estudia la trayectoria que ha llevado este campo.

3.1 Evolución de la tecnología agrofotovoltaica

El primer paso que se dio en esta tecnología fue en 1982, cuando se empezó a hacer estudios teóricos sobre la posibilidad de fusionar ambas tecnologías, haciendo estudios de compatibilidad de tierras cultivables con producción de energía solar.

En 2004 surge el primer prototipo de instalación fotovoltaica combinada con cultivo, siendo en 2011 cuando se instalan las primeras plantas agrofotovoltaicas en Europa, emplazadas en Italia y Francia.

Japón es el siguiente país en instalar este tipo de tecnología en 2013, instalando una plantación en pequeña escala.

La primera mega plantación agrofotovoltaica surge en China, contando con más de 10 hectáreas en el año 2015, seguida por Francia en el año 2017. En el año 2018, se fundó la primera empresa dedicada únicamente a esta tecnología en Estados Unidos.

Hoy en día, el 80 % de los países cuentan con esta tecnología, estando en pleno auge de adaptación las centrales fotovoltaicas convencionales para crear plantas fotovoltaicas combinadas con cultivo y ganado. Abundan los países con falta de espacio debido a su optimización.

3.2 Tecnología solar

La energía solar es un tipo de energía renovable, que mediante células fotovoltaicas se capta y aprovecha la radiación solar.

Alejandra de Dios Cámara

Se distinguen dos tipos diferentes: por un lado, la energía solar fotovoltaica, que transforma la radiación del sol en electricidad, y, por otro lado, la energía solar térmica, que transforma la energía solar en calor.

En este caso, se estudia la energía solar fotovoltaica, formada por paneles solares que están compuestos por células fotovoltaicas. Las células fotovoltaicas son de materiales semiconductores, de forma que, al aproximarse la radiación solar, se genera un flujo de electrones en el interior que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.³

En los últimos años, la energía solar está tomando un papel muy importante dentro de las energías renovables, ya que posee una eficiencia de entre 15% y 18%, lo cual implica que entre el 15% y el 18% de la radiación solar sobre un panel es absorbida.

Este tipo de energía no emite gases de efecto invernadero, por lo que el impacto medioambiental que tiene es positivo. Es una energía ilimitada, por lo que la tecnología que se desarrolla en este sector es una tecnología muy duradera, lo que significa que los materiales que se van a usar van a durar más tiempo y no van a quedar obsoletos al cabo de los años, lo que va a suponer mucha menos contaminación respecto a otro tipo de energías.

3.3 Tecnología agro-voltaica

La tecnología agro-voltaica se trata de una combinación entre la energía solar fotovoltaica y el sector agrario.

Es uno de los tipos que conforman el campo de las tecnologías “eco- sharing”. La tecnología “eco- sharing” es aquel tipo de energías renovables que comparten terreno. Dos tecnologías se compenetran en el mismo terreno generando un rendimiento del 150% como mínimo. En este caso, hablamos de energía fotovoltaica y tecnología agraria.

Esta tecnología está en pleno auge, y se da principalmente en países con dificultades a la hora de encontrar espacio disponible, ya que la optimización del espacio es del 160%. Otro beneficio que tiene esta tecnología, aparte de crear energía de manera sostenible, es que permite a los agricultores una oportunidad de expandirse y una nueva fuente de ingresos. Por otro lado, también les permite obtener conocimientos respecto a la tecnología que se está implementando en el terreno de cultivo, aprendiendo cómo funciona una placa fotovoltaica, un inversor, ...

Otro punto a favor de esta tecnología es que los cultivos aumentan en un 10% la producción de energía solar, dado que las altas variaciones de temperaturas pueden disminuir el rendimiento de las placas, pero gracias al cultivo, las temperaturas son

Alejandra de Dios Cámara

más estables, con una variación de hasta 5°C⁴. Se podría denominar este fenómeno como un Win-Win, dado que las placas aumentan su productividad gracias al cultivo y el cultivo aumenta gracias a las condiciones más estables que lo que la proporcionan las placas.

En la siguiente imagen se muestra la optimización del terreno que sufre con este tipo de tecnología.

Se comparará el espacio ocupado por ambas tecnologías separadas y juntas, demostrando que el terreno está optimizado en un 160%.

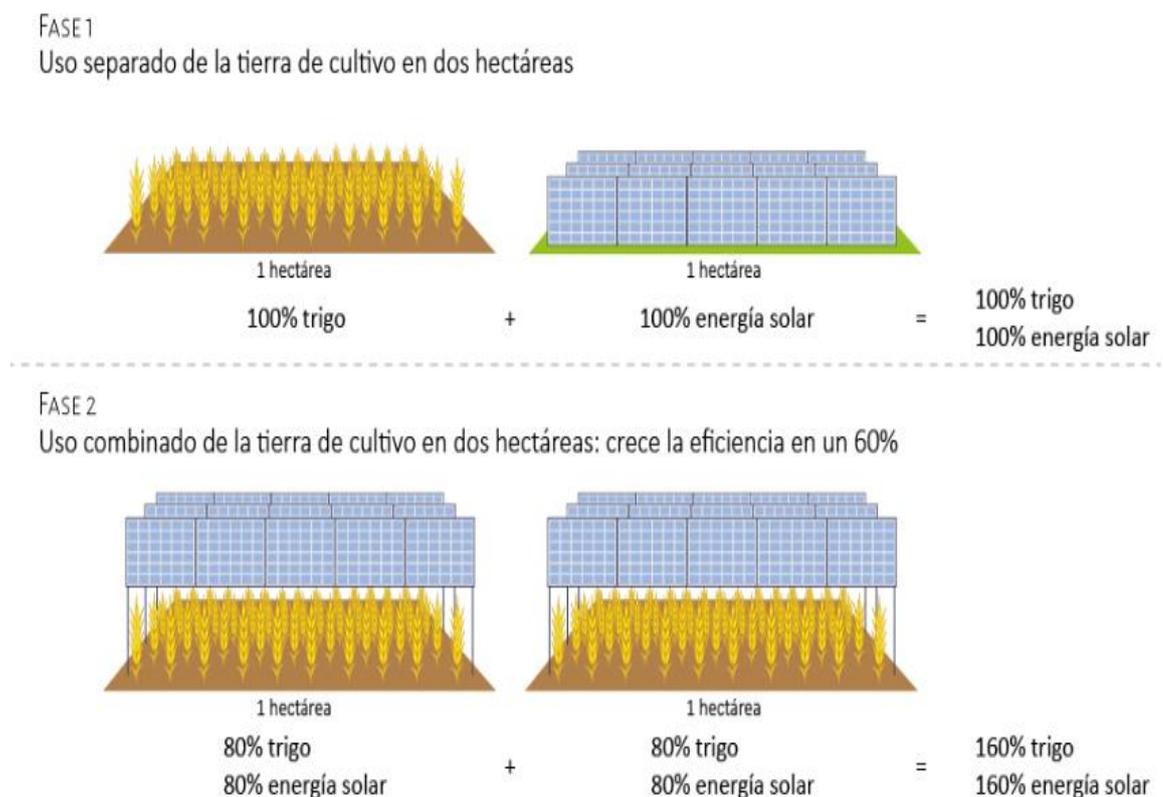


FIGURA 4 : OPTIMIZACIÓN DEL ESPACIO CON TECNOLOGÍA AGRO-VOLTAICA.¹

¹ Autosolar Energy Solutions SLU, CIF B98662224 (2019). Agrofotovoltaica: combinando fotosíntesis y fotovoltaica.

Alejandra de Dios Cámara

3.4 Análisis DAFO

En este apartado se realiza un análisis DAFO de la tecnología agrofotovoltaica.

Como bien las siglas indican, un análisis DAFO sirve para analizar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de un proyecto. Este tipo de análisis es eficaz, ya que tiene en cuenta tanto factores internos como externos que afectan al proyecto, simplificando la toma de decisiones.

Es un análisis rápido analizando las características superficiales. No es un análisis exhaustivo.

Análisis DAFO de una central agrofotovoltaica:

<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none">· Optimización del espacio mejorando la calidad de vida de los agricultores.· Escasez de combustibles fósiles.· La construcción de una planta agrofotovoltaica no requiere una obra civil.	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none">· Es una tecnología nueva que todavía no tiene variedad de estudios realizados sobre el tema.· Falta de inversores y ayudas para subvencionar este tipo de proyecto.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none">· Las tierras de cultivo no utilizadas han aumentado alcanzando el 10% de las tierras de cultivo.· El impuesto sobre la propiedad de la tierra se mantiene bajo ya que no está estipulado a nivel impuestos la conversión de tierras de cultivo.· Es una tecnología sin emisión de CO₂ a la atmósfera.	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none">· Inestabilidad del precio de mercado de los productos agrícolas.· La profesión de agricultor ha disminuido un 60% en los últimos 10 años.

TABLA 2: ANÁLISIS DAFO.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 Emplazamiento

El emplazamiento de la central agro-voltaica se encontrará en la provincia de Shizuoka, situada en la región de Chūbu, Japón. Chūbu significa región central, dado que es toda la región situada en el centro de Japón.



FIGURA 5 : REGIÓN DE CHŪBU, SHIZUOKA.⁵

Shizuoka es una “perfeectura” de Chūbu, entre las otras ocho que componen esta región. Las “perfeecturas” es de la forma en la que está dividido Japón y podría tener cierta similitud a lo que se denomina provincias en otros países. Shizuoka tiene un área total de 1.411,77 km² y una población de 685.589 habitantes distribuidos mayoritariamente en la zona de ciudad. El país contiene una gran parte de las plantaciones de té de Japón, debido a que, a pesar de su baja latitud, tiene varias cadenas montañosas cerca.

En esta región hay que tener en cuenta varias características, verbigracia, la baja latitud (Shizuoka está situado en el paralelo 35) teniendo zona de Costa,

Esta zona está protegida por montañas. Al norte de esta región se encuentran las montañas Akaishi, mientras que al noroeste está el monte Fuji, en consecuencia, se trata de un terreno muy abrupto con unas condiciones muy poco óptimas.

Alejandra de Dios Cámara

El mapa topográfico de la región es el siguiente:

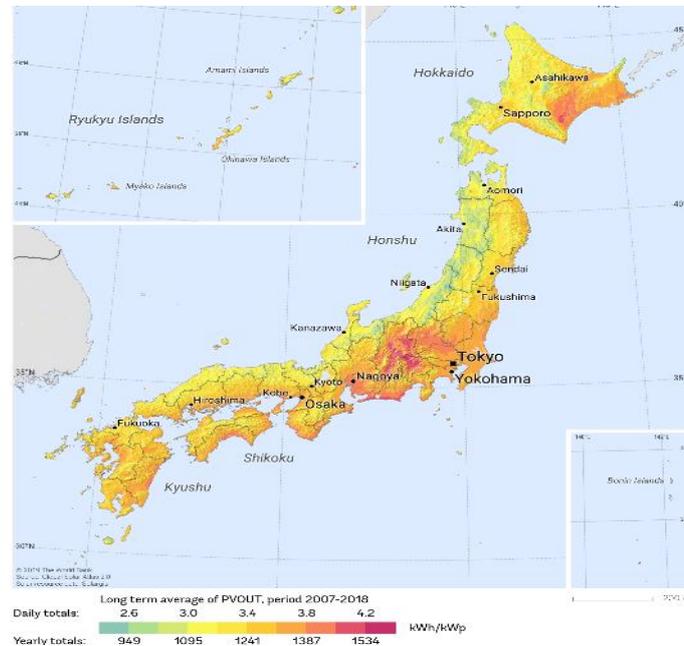


FIGURA 6: MAPA TOPOGRÁFICO⁶

La radiación en esta región está comprendida entre 4,3 y 4,8 kWh·m²·día (ANEXO I), siendo esta la energía emitida por el sol que van a captar las placas fotovoltaicas, haciendo este país perfecto para la implementación de placas solares

Con respecto a la parte agraria, en Japón es muy difícil el cultivo debido a la falta de terreno y difíciles condiciones. Se están implementando diferentes tecnologías como entre otras el cultivo vertical, disminuyendo el espacio necesario para cultivar en un 80% o la agricultura hidropónica, un tipo de cultivo sin tierra.

Aun así, estas metodologías no sirven para todos los cultivos, por lo consiguiente es inevitable desarrollar otro tipo de metodología para el cultivo que no se adapte bien.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, esta región resulta idónea para crear una central agro-fotovoltaica debido fundamentalmente al abrupto terreno y a la abundante radiación solar.

Alejandra de Dios Cámara

El terreno escogido es el siguiente, situado en la periferia de la ciudad y con fácil acceso. Se trata de un terreno que está en alquiler por parte del agricultor y cuenta con más de 1.000 m², de esta forma este terreno es perfecto para la implementación de este proyecto.

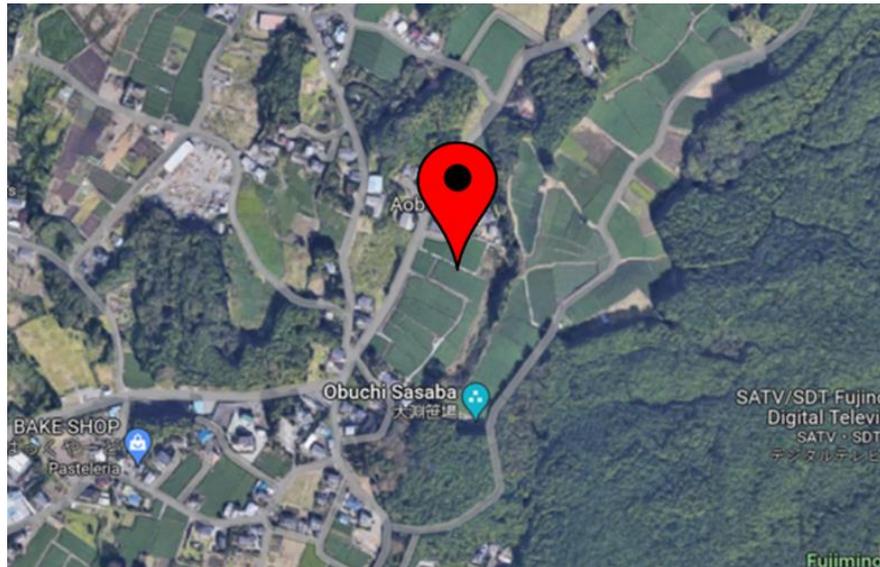


FIGURA 7: TERRENO DE EMPLAZAMIENTO.

Las características de este terreno cumplen con todas las necesidades de la central, teniendo acceso directo desde ahí a la red eléctrica, el riego y el cultivo ya están implementados, por lo que no sería necesario partir desde cero.

La extensión de la parcela es la siguiente:



Figura 8: extensión de la parcela.

4.2 Antecedentes y Justificación

Los antecedentes energéticos que se han dado a nivel mundial durante los pasados años, han afectado directamente a este país también, llevándole a vivir las consecuencias.

Japón sufrió la pandemia mundial a niveles industriales desde marzo 2020 hasta febrero de 2022, que fue la fecha en la que se considera que toda la industria volvió a estar en funcionamiento. A pesar de que Japón es de los países que ha retomado el plano industrial de manera más progresiva, esto también ha derivado en un déficit energético.

La guerra que se desencadenó entre Rusia y Ucrania el 24 de febrero de 2022, ha creado una gran crisis energética después del COVID, dado que Japón se ha involucrado directamente apoyando a Ucrania debido a pasados conflictos entre Rusia y Japón en la segunda guerra mundial.²⁴

Por otro lado, a pesar de que estos acontecimientos mundiales afectan directamente a Japón, este país ya tuvo en el año 2011 una crisis energética, causada por el accidente de Fukushima.²¹ Tras este accidente, la visión de la población con respecto a la energía nuclear, pego un cambio drástico para mal, pasando a ser vista este tipo de energía como peligrosa e inestable.

Dado que este país carece de combustibles fósiles, toda la energía proveniente de los mismos ha sido importada desde entonces, por lo que pasó a ser un país dependiente a nivel energético, estando mucho menos desarrollado a nivel energético que el resto de los países.

En el año 2013, para la concienciación de la población, se funda la institución de Estrategia Nacional de Seguridad de Japón, siendo esta una institución encargada de la seguridad de los proyectos energéticos entre otros desempeñados en Japón.²⁰ A fin de comprender la necesidad de desarrollo de este proyecto, se plantean las siguientes cuestiones:

Japón tiene un problema sísmico, puesto que tiene una media de 1500 terremotos al año, los cuales han creado ya catástrofes naturales. Por esta razón, los edificios que poseen están contruidos a prueba de los riesgos que puede ocasionar un terremoto. Debido a esta circunstancia, es muy complicado ajustar placas solares para implementar la energía fotovoltaica en los edificios.

La densidad de población en Japón es de 333 habitantes por km², lo que lo convierte en un país que tiene ciertas limitaciones a la hora de disponer de terrenos para la construcción de centrales fotovoltaicas o de plantaciones agrarias.

Alejandra de Dios Cámara

Por otro lado, a pesar de ser líder mundial en capacidad solar por metro cuadrado, la mayoría de la producción de electricidad proviene de la industria del carbón, siendo en el año 2018 el sexto emisor de gases de efecto invernadero del mundo.²

Dadas estas características, este país es excepcional para este proyecto. Con una central agro-voltaica, se conseguiría ahorrar espacio, disminuyendo la producción de gases de efecto invernadero, y mejorando la empleabilidad del sector agrario. Todos estos beneficios se obtendrían sin crear ninguna emisión de CO₂.

4.3 Datos climatológicos

Los datos recopilados indican que la localización tiene condiciones muy favorables para implementar una plantación agro-fotovoltaica de tipo invernadero por las siguientes cuestiones (ANEXO I).

- Radiación global horizontal: Energía solar total que incide en una superficie. Es la suma de la radiación directa, la radiación dispersa o difusa y la radiación reflejada.²⁵ Esta zona en cuestión posee una radiación global horizontal anual de 1.446,1 kWh/m².
- Radiación difusa horizontal: Se trata de la radiación global horizontal menos la radiación solar directa, análogamente la radiación solar que no incide directamente sobre las placas.²⁵
La radiación difusa horizontal del terreno es de 767,8 kWh/m² anualmente.
- Radiación extraterrestre: Energía electromagnética de onda larga emitida por la superficie terrestre y por los gases, los aerosoles y las nubes de la atmósfera, y es también parcialmente absorbida en la atmósfera.²⁵ En este terreno hay una radiación terrestre de 3.075,4 kWh/m²/año.
- Índice de claridad: Este índice mide la transparencia de la atmósfera, siendo la relación entre la irradiación anual global horizontal y la irradiación anual extraterrestre.²⁵

² de Benito, J. L. (2021, 9 julio). La fotovoltaica quiere ser mayoría en la generación de energía de Japón.

Alejandra de Dios Cámara

En este caso hay una proporción de 0,447, lo que indica que en esta zona hay una contaminación ordinaria.

- Temperatura ambiente: Temperatura medida en el emplazamiento, siendo la media de 16,7 ° C, por lo consiguiente es una temperatura baja, pero con la estructura de tipo invernadero se va a obtener una temperatura de 20° C medios aproximadamente.
- La velocidad del viento: La velocidad del viento media durante el año es de 3.875 m/s, por lo consiguiente es muy moderada, a pesar de ello, dado que el cultivo que se quieren implantar es muy delicado, la mejor opción es el uso de un invernadero para que el cultivo esté más protegido. A pesar de ello la velocidad del viento es muy baja como ocasione alguna inconveniencia.

Por otra parte, se estudia la posición del sol a lo largo del tiempo para optimizar el posicionamiento de las placas. Como se ve en la figura del ANEXO I, se muestra el recorrido del sol en el año 2020 en cada periodo de tiempo con las diferentes porciones que se representan, siendo cada curva muestra un periodo de tiempo indicado en el índice.

En esta gráfica se puede comprobar, que esta radiación va a ser simétrica, en consecuencia, la radiación solar va a ser muy parecida por la mañana que por la tarde, la opción más idónea para colocar las placas y poder recoger la máxima radiación posible, es en forma de tejado. De esta forma cómo están colocadas una fila de placas apoyadas en otra fila de placas con posiciones opuestas para captar la mayor radiación posible.

En relación con las precipitaciones, en verano hay periodos de buen tiempo con temperaturas razonablemente altas, al tanto que hay periodos de tiempo más desfavorable, con vientos fuertes y mucha lluvia, esto se debe al monzón estival.³

³ *Clima Shizuoka: temperatura, precipitaciones, cuándo ir.* (2020, 1 mei). Clima - Shizuoka

(Japón). Geraadpleegd op 5 mei 2022,

Alejandra de Dios Cámara

Las precipitaciones medias en Shizuoka en el año 2021 fueron las siguientes:

Mes	Cantidad (L/m ²)	Días
Enero	70	11
Febrero	100	12
Marzo	210	17
Abril	235	16
Mayo	220	17
Junio	285	20
Julio	280	20
Agosto	245	18
Septiembre	305	19
Octubre	170	17
Noviembre	135	12
Diciembre	60	10
Año	2315	189

TABLA 3: PRECIPITACIONES EN SHIZUOKA AÑO 2021

4.4 Impacto medioambiental.

Un impacto ambiental es “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”, por lo que se realiza un estudio de las alteraciones que puede llegar a crear este proyecto.

- Ruidos: Las placas solares generan energía de manera silenciosa, mientras que el inversor trabaja a alta frecuencia, lo que quiere decir que es un proceso imperceptible a nivel acústico para el ser humano. La maquinaria agrícola genera una media de 85 decibelios a la hora de usarse, lo que es una cifra alta. Esta maquinaria se usa en días muy concretos de siembra y recolecta.
- Emisiones gaseosas a la atmósfera: La tecnología fotovoltaica es una energía limpia, por lo que no requiere ninguna combustión para crear energía. Por otro lado, la maquinaria agrícola emite 2,65 kg de CO₂ tras quemar un litro de carburante. De todas formas, la maquinaria se usa de forma puntual, y el impacto que crea a nivel medioambiental no es significativo.

Alejandra de Dios Cámara

- **Destrucción de flora y fauna:** Los equipos de la instalación no tienen efecto de destrucción sobre la fauna o la flora del terreno, dado que este proyecto se va a implementar en un terreno preparado para ello, donde la creación de este no sea intrusiva.
- **Residuos tóxicos y peligrosos:** La mayoría de los equipos están fabricados de manera reciclada, realizándose la refrigeración de este por convección natural.
- **Paisaje:** En este caso, la parte fotovoltaica va a afectar a la visibilidad creando una intrusión visual del medio natural, disminuyendo la calidad del paisaje.

En definitiva, el proyecto va a crear como impacto medioambiental negativo la intrusión del paisaje, siendo el resto de las características de este positivas o poco influyentes en el medio ambiente.

5. Ingeniería básica y Diseño

En este apartado se opta por definir los aspectos básicos para poder llevar a cabo el proyecto, definiendo así las especificaciones técnicas que serán necesarias.

Para ello, se definen las diferentes tecnologías que hay en ambos campos haciendo un estudio de viabilidad.

5.1 Diseño de la planta

Hay diferentes tipos de estructuras para implementar esta tecnología:

- Explotación agrícola bajo estructuras en altura.

En este caso, los paneles están elevados de 4 a 6 metros sobre el cultivo. Esta tecnología combina el ahorro de agua con cultivo que no necesite excesivo sol.

Este fenómeno se explicaría con que hay plantas que tienen un punto de saturación de luz, en el cual iría directamente relacionado con el consumo de agua, por lo que la sombra de las placas solares disminuye la demanda de agua de las plantas.



FIGURA 9: EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA BAJO ESTRUCTURAS EN ALTURA.²⁶

Alejandra de Dios Cámara

- Explotación agrícola entre filas.

En este caso, los paneles están alternados con el cultivo, permitiendo así obtener energía y cultivo del mismo terreno. Este tipo está diseñado para cultivos que tengan una alta demanda de energía solar. De esta forma, ambas tecnologías conviven en un mismo entorno sin estar una encima de la otra. Sirve para cultivos que tengan necesidades específicas por las que tengan que estar a la intemperie.

Este tipo de tecnología es útil, pero tiene desventajas. Es necesario dejar terreno para la maquinaria y el espacio no va a estar tan optimizado.

En este tipo de tecnología se usan paneles móviles que rotan con la posición solar, de esta forma, se capta la mayor radiación solar posible sin necesidad crear varias estructuras en serie de paneles para la central.

Un ejemplo de esta tecnología sería el siguiente:



FIGURA 10:EXPLORACIÓN AGRÍCOLA ENTRE FILAS.²⁶

Alejandra de Dios Cámara

- Explotación agrícola de forma Invernaderos.

En este caso, es necesaria la presencia de un invernadero, estando las placas en la superficie de él. La disposición de placas de este tipo es en forma de tejado, para mejorar la estabilidad de la superficie



FIGURA 11: EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA DE FORMA INVERNADEROS.²⁶

La principal utilidad de los invernaderos es proteger el cultivo de variaciones bruscas de temperatura, creando un microclima en el interior de él, donde puede haber una diferencia con el exterior de hasta 5 ° C.

Un invernadero funciona de la siguiente manera : La radiación solar penetra el invernadero, llegando al cultivo, cuando esta refleja en la tierra y va a salir del invernadero, la radiación posee una longitud de onda más amplia, por lo que el vidrio impide que esta pueda salir en su totalidad, creando un microclima con una variación de +5 /+10 °C.

En este caso, va a ser el tipo de estructura elegida, ya que se al estar la parcela donde se va a implantar el proyecto en terreno montañoso, va a haber gran variación del clima. De esta forma, se consigue un clima cálido, húmedo y más estable.

Alejandra de Dios Cámara

Para entender este funcionamiento, de puede usar el siguiente dibujo:

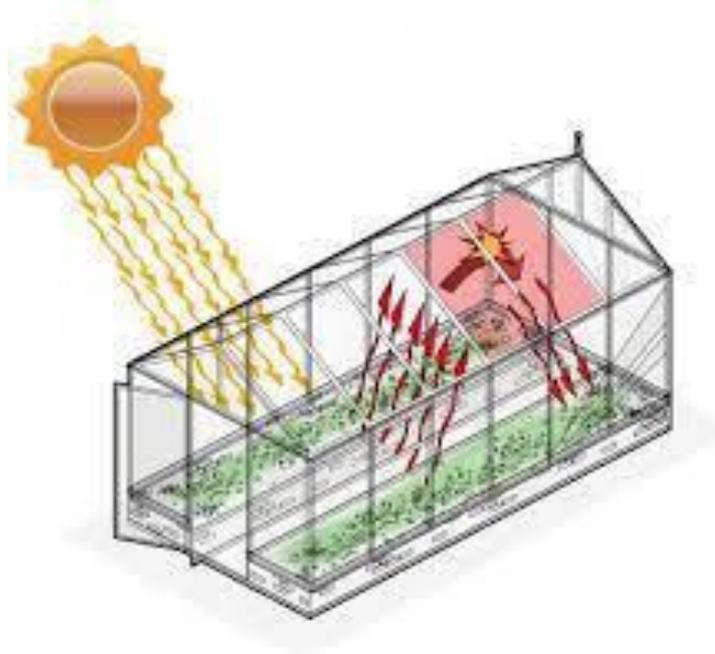


FIGURA 12: EFECTO INVERNADERO.

La estructura consta de 12 hileras dobles en forma de tejado, sujetadas por un soporte semitransparente. Cada 3 hileras tienen un soporte formado por tres pilares para conseguir la estabilidad de la estructura. La estructura va a estar elevada 4,27 m para favorecer el paso de la maquinaria de cultivo y mantenimiento de las placas.

La estructura va a tener una masa de 210.000 kg, cálculo hecho a partir de la herramienta SolidWorks. A este peso hay que sumarle el peso de las placas, el cual es 480 placas x 26,6 kg, lo cual hace un total de 222.768 kg 245,5 ton.

Alejandra de Dios Cámara

Los planos en 3D hechos a partir de la herramienta SolidWorks son:



FIGURA 13: ESTRUCTURA DE LA CENTRAL AGRO-FOTOVOLTAICA.

La estructura está hecha de una aleación de acero inoxidable galvanizado, siendo este el material más resistente a las características bajo las que va a estar la central. Entre los pilares a los lados hay un material móvil transparente que simula el plástico, para proteger el cultivo de climas adversos. El material es necesario que sea translúcido, de esta forma mejora el efecto invernadero que se va a dar debajo del mismo, protegiendo a la vez el cultivo.

la central va a contar con seis pilares centrales debido a la resistencia a la estructura, De esta forma obtendremos la altura necesaria para que pueda pasar la maquinaria entre los cultivos, teniendo en cuenta que la mayoría mide entre 2 y 3 m.

Los planos de la central con su correspondiente análisis de resistencia se han obtenido mediante un programa de simulación de estructuras llamado SolidWorks, en el cual es posible realizar el diseño de la estructura poniendo todos los materiales de los cuales está formada y calcular si va a ser resistente o no. Los planos de la central se obtienen en el anexo VI.

5.2 Cultivo

En el presente apartado se define el cultivo que se quiere plantar en el terreno, en este caso el té.



Figura 14 : Cultivo de té en invernadero.¹⁹

Este cultivo es la mejor opción debido a la cultura del país dónde se desea implementar el proyecto, ya que en Japón se consumen grandes cantidades de diferentes tés, destacando el té verde. En este país se considera la bebida principal, la consumen en todas las comidas y podría considerarse un ícono cultural en Japón.

Al ser una planta con tanta presencia, las exportaciones de esta también son altas, por lo que este cultivo puede llegar a proporcionar grandes ingresos debido a su alta demanda. En la provincia de Shizuoka, se cultiva cerca del 40% de todo el té producido en Japón.⁷

La planta del té crece en zonas cálidas con una alta humedad relativa, siendo estas características difíciles de conseguir. Debido a la estructura de tipo invernadero de la

Alejandra de Dios Cámara

plantación agro-fotovoltaica, va a ser más fácil conseguir estas características, por lo que va a ser el cultivo que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

Por otro lado, un método de cultivo de esta planta es ralentizando la fotosíntesis de esta, así las plantas tardan más en crecer y consiguiendo así mejor calidad de la planta y un sabor más intenso. Esto se debe a que el té proviene de la hoja de la planta, cuanto más pequeña sea la planta más pequeña va a ser la hoja por lo que va a ser mucho más tierna.

Las placas solares van a poder acomodar una temperatura estable y alta, debido a que gracias al calor que captan, este se transmite al invernadero que cubren, frenando así la incidencia de los rayos sobre las placas, consiguiendo así la ralentización de la fotosíntesis.

Para poder producir té, se necesitan semillas o esquejes de la planta. Estas semillas pasan por un proceso de maduración en un vivero durante 12 meses para poder cultivarlas y que salga el árbol del té. Una vez cultivadas, el árbol es productivo durante aproximadamente 50 años. En este caso, las semillas se comprarán ya listas para la siembra.

El proceso de cultivo de esta planta es sencillo, primero se realiza la siembra del terreno, este proceso da lugar entre el mes de octubre y septiembre. Es necesaria una espera de mínimo dos años para que la planta sea apta para producir té, después de ese periodo de tiempo, cuando la planta ya ha llegado a la altura necesaria, se realiza la poda y empieza el proceso de cosecha.

La recolección del té se realiza una vez al año en la primera mitad de mayo, las hojas de té más finas se recogen a mano, para poder hacer el té verde macha. Inmediatamente después de la cosecha, las hojas del té se llevan a las instalaciones de procesamiento, en este caso, se llevan a la fábrica Fábrica Marukyu Koyamaen y se vuelve a empezar el proceso.

Para este último paso se necesita una cosechadora y un camión de transporte que proporciona la fábrica. Es muy importante podar las plantas de té, y fumigarlas, por lo que se va a necesitar una fumigadora, encargándose de todos los cuidados de la planta el agricultor.

Por otro lado, se va a implantar un sistema de riego por aspersión, funcionando mediante aspersores que sueltan agua a presión. Este método de riego simula la caída por lluvia y es el más común para grandes superficies de terreno, ya que tiene una eficiencia del 85%, se puede automatizar y tiene una vida útil larga.

Es un sistema de riego muy eficiente dado que permite que el suelo no pierda su fertilidad por lixiviación (pierda los minerales más valiosos por falta de agua).⁸



FIGURA 15: SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN⁸

Este tipo de riego es muy eficiente por lo que se van a instalar 3 hileras de este tipo de riego ya que cada hilera posee 3 aspersores. Cada aspersor tiene un radio de riego de 5 m lo que hace un área total de 50 m². A pesar de que cubren más de la superficie, el riego se calcula siempre como si abarcase menos cantidad de terreno. Esto es muy importante debido a que el cultivo necesita mucha cantidad de agua.

Este árbol puede llegar a medir hasta 9 m, pero a los 2 m, se corta el crecimiento para que el cultivo sea óptimo, por lo que cada árbol va a medir más o menos 2x1x1.

Dado que la superficie de cultivo cuenta con 670 m², se estima poner 20 filas de plantas de té, dejando espacio entre medias para facilitar el paso. Cada fila va a tener aproximadamente 25 plantas de té, lo que hace un total de 500 plantas de té aproximadamente.

Con esta cantidad de té va a ser posible llenar varios camiones al año dependiendo de la cosecha y de las condiciones climáticas de dicho año. Estos camiones Irán directamente a la fábrica donde se trata el cultivo y este pasa por un control de calidad, siendo empaquetado y distribuido después.

5.3 Estructura fotovoltaica.

Este sistema está compuesto por: Red eléctrica, Paneles Solares, Inversor de Red, cableado externo y un equipo de monitoreo. Se trata de un mecanismo muy eficiente, dado que no es necesario el uso de baterías para almacenar energía, sino que las placas captan la energía solar, y la convierten en corriente continua que se vierte a la red.

5.3.1 Núcleos fotovoltaicos

A continuación, se realiza un estudio sobre las placas fotovoltaicas que se van a utilizar, basándose en la optimización de la energía, el espacio, y el coste. A pesar de haber numerosos tipos de placas fotovoltaicas, se han seleccionado los más importantes, con los que se va a hacer una diferenciación respecto de sus características.

Dentro de la amplia gama que ofrece esta tecnología, se pueden distinguir tres grandes grupos: paneles fotovoltaicos monocristalinos, policristalinos y de silicio.

- Paneles fotovoltaicos monocristalinos: Poseen una alta eficiencia y rendimiento (17%). Conllevan un proceso de producción de energía que es más complicado, caro, y poco estandarizado, por lo que no siguen en su totalidad la norma común por la que se crean el resto de las componentes de la planta.
- Paneles fotovoltaicos policristalinos: Buen proceso de producción de energía siendo este más sencillo. Disminuye el rendimiento que poseen (entre el 11% y el 15%).²³ Su coste de mercado es menor que el de los paneles monocristalinos.
- Los paneles fotovoltaicos de silicio: El coste de fabricación es inferior, y el proceso de fabricación de energía es más simple, siendo más polivalente con diversos tipos de inversores. El rendimiento disminuye (7– 8%).

Sentado lo anterior, las placas fotovoltaicas más utilizadas son las basadas en el silicio (elemento muy abundante en la tierra) monocristalino. El silicio puede obtenerse del reciclaje de los desechos de la industria electrónica, es el mecanismo más sostenible y eficiente. Después de su uso, cuando las placas se quedan obsoletas es más

Alejandra de Dios Cámara

sencillo reciclarlos que cualquier otro tipo de material debido a que es biodegradable y se pueden fabricar gran cantidad de elementos a partir de este.

Por otro lado, hay dos tipos de paneles solares atendiendo a la zona por donde captan radiación. Estos son los paneles solares monofaciales y los paneles solares bifaciales.

- Paneles solares monofaciales: Paneles que solo tienen captación solar por una superficie de las caras, siendo su estructura opaca y más simple. Este tipo de panel se usa en macro plantas solares, ya que es un panel más barato que necesita menos mantenimiento debido a su opacidad. Se trata de un tipo más antiguo, siendo la tecnología más arcaica.
- Paneles solares bifaciales: Paneles que tienen captación solar por las dos caras. Este tipo de panel tiene un mayor rendimiento, ya que posee más superficie útil. Requiere un mantenimiento más complejo, ya que, al ser translúcido es necesario que esté muy limpio para favorecer la absorción de energía por ambas caras. Su montaje es muy simple dado que los dos paneles enfrentados vienen previamente montados.

A efectos del presente proyecto, se escogen paneles fotovoltaicos basados en silicio monocristalinos bifaciales. Es la opción más eficiente si se tiene en cuenta que se trata de una estructura elevada en la que se va a crear un efecto invernadero. De esta manera, se aprovecha la radiación reflejada en el suelo, aprovechando al máximo la radiación solar.

El cultivo que se va a situar bajo las placas tiene ciertas necesidades de luz solar, por lo que no se podría instalar paneles solares opacos, debido a supondría una dificultad a la hora de que las plantas realicen la fotosíntesis. Los paneles bifaciales elegidos, al ser translúcidos y tener más separación entre los núcleos, favorecen el paso de la energía solar necesaria para la realización de la fotosíntesis, protegiendo el cultivo de situaciones desfavorables y creando un clima con una temperatura más estable al mismo tiempo. Asimismo, favorecen el funcionamiento del proyecto, facilitando que se realice el efecto invernadero y que el cultivo sea mucho más fértil.

Alejandra de Dios Cámara

Así las cosas, un panel fotovoltaico bifacial funciona de la siguiente manera:

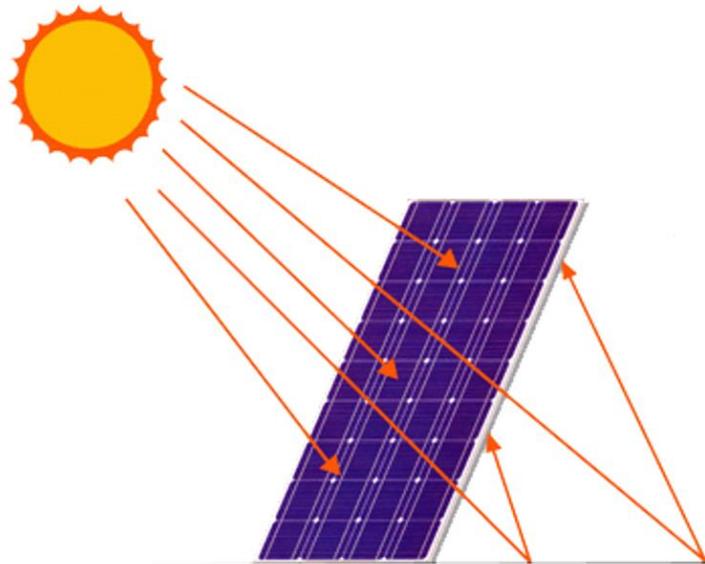


FIGURA 16: FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL BIFACIAL.⁸

La radiación solar llega a los paneles traspasando parte de ella a la superficie donde están los cultivos. Estos paneles aprovechan el fenómeno de reflexión solar, recibéndola con la cara opuesta del panel.

Además, cabe resaltar que el aspecto económico es de vital importancia. Los paneles bifaciales son un 30% más caros que el resto de los paneles, aunque van a tener una productividad más alta en comparación. Es una tecnología muy desarrollada, por lo que es muy importante encontrar un distribuidor fiable.

Los paneles elegidos son paneles fabricados por la empresa Jinkosolar (fabricante instalado en China). A pesar de que el transporte de un lugar a otro es ciertamente complejo, ya que las rutas marítimas entre los dos países tienen una duración de 30 días aproximadamente, el precio de estos paneles hace que sea más asequible. Además, el fabricante te asegura un máximo de 0,5% de degradación de potencia anual, lo que es una cifra bastante baja. Las placas tienen una garantía de 30 años.

El modelo elegido es el panel monocristalino de silicio bifacial “JKM405M-72H-BDVP-Bifacial”.

Alejandra de Dios Cámara

Las características técnicas de este panel son las siguientes (ANEXO III):

A nivel de resistencia, poseen una carga de nieve de 5400 Pa (Carga máxima de nieve que soporta), una carga de viento de 2400 Pa (Carga máxima de viento que soporta) y el fabricante asegura un excelente rendimiento en entornos con poca luz, por lo que tienen una resistencia alta a climas desfavorables. (ANEXO IV)

Las medidas de las placas son 1.008x2.031, teniendo un área total de 2,05 m² siendo solo 1.79 m² área con células fotovoltaicas por ambas caras.

La potencia nominal (La máxima potencia que puede llegar a dar un panel fotovoltaico) es de 405 Wp, con un factor de rendimiento anual del 82%, siendo esta la relación entre el rendimiento real y nominal del panel fotovoltaico.

Se realiza un estudio de optimización de posición de las placas en el cual se van a tener en cuenta diferentes factores y de tipo de placa fotovoltaica.

En primer lugar, el sistema fotovoltaico estará conectado a la red, trabajando de manera conjunta con la red eléctrica pública, siendo este mecanismo la principal fuente de ingresos.

Las características de geolocalización del entorno son:

Latitud	34,74 °N
Longitud	138,13 °E
Altitud	159 m
Zona horaria	UTC + 9

Para poder analizar la distancia que debe de haber entre placas, se estudia como día de referencia el más desfavorable de todo el año, teniendo en cuenta que la central está en funcionamiento todos los días del año (ANEXO I).

En este caso, interpretando la gráfica donde se muestra la altura solar, se llega a la conclusión de que el día donde la altura solar es mínima al mediodía (hora a la cual hay más radiación) es el día 22 de diciembre.

Alejandra de Dios Cámara

Para calcular esa distancia mínima entre dos placas se usa la siguiente fórmula:

$$d_{min} = l \cdot \left(\cos\beta + \frac{\text{sen}\beta}{\text{tg}H} \right) [m]$$

- l = Longitud del módulo (incluido el marco y el soporte correspondiente). [m]
- H = Altura solar en el mediodía del mes más desfavorable. [m]
- β = Grado de inclinación de los módulos respecto a la horizontal. [grados]

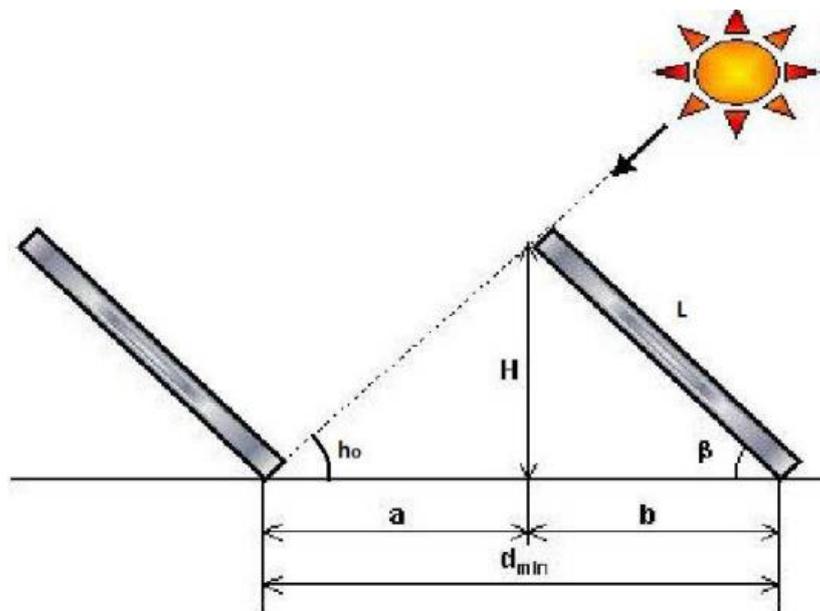


FIGURA 17: ESTUDIO DE LA POSICIÓN DE LAS PLACAS.¹⁰

Siendo:

$$H = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23,5^\circ$$

Latitud del lugar: $34,74^\circ$.

$$H = (90^\circ - 34,74^\circ) - 23,5^\circ = 31,75^\circ.$$

Alejandra de Dios Cámara

Longitud de la placa solar: 2,008 metros.

Inclinación óptima de los paneles $\beta = 30^\circ$.

Por lo que

$$d_{\min} = 2,008 \times (\cos 30^\circ + \sen 30^\circ / \operatorname{tg} 31,75) = 3,362 \text{ metros}$$

La planta fotovoltaica está formada por un total de 480 módulos fotovoltaicos bifaciales modelo JKM405M-72H-BDVP-Bifacial del fabricante Jinkosolar.

La planta se va a dividir en dos subcampos fotovoltaicos variando la orientación entre ellos, los que están cara este y cara oeste, este tipo de disposición de placas se llama en forma de tejado.

Cada módulo tiene una inclinación de 30° con respecto al eje horizontal, para mejorar la captación solar. Ambos subcampos van a estar divididos a su vez en 12 String, teniendo cada una 20 placas fotovoltaicas conectadas en serie.

La disposición de las placas es en forma tejado, debido a la posición de la nave oeste

Dado que la curva solar de este emplazamiento es simétrica, la disposición de las placas va a ser con la forma de tejado. Esta es la posición más favorable, ya que así se consigue el 99% del rendimiento solar, teniendo en ambas orientaciones un porcentaje de pérdidas del 1%, mientras que, si la central fotovoltaica estuviese solo compuesta de placas con una orientación, se perderían el 50% de horas de luz del día. (ANEXO I)

Alejandra de Dios Cámara

Por lo que las placas van a estar posicionadas de la siguiente forma:

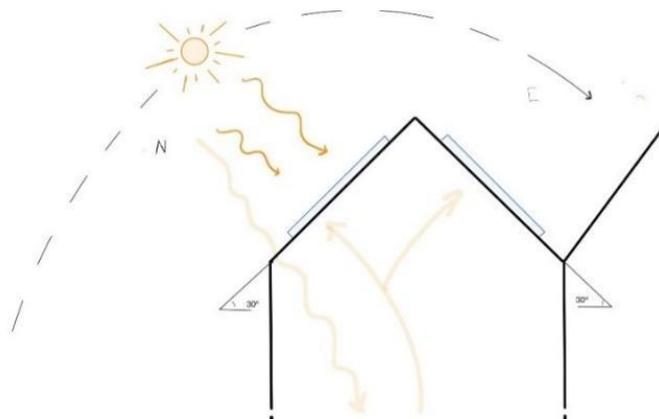


FIGURA 18: POSICIONAMIENTO DE LAS PLACAS.

Las placas con la misma orientación van a tener una distancia entre sí de 3,5 metros, de esta forma se respeta la distancia mínima, y se aprovechan más las horas de sol incluyendo la forma de tejado. De esta forma, se deja más espacio para que entre las placas pueda pasar más radiación, permitiendo aprovechar en un 30% más la característica bifacial de las placas.

Por otro lado, la media de altura de la maquinaria agraria es de 3 metros, la plantación va a estar elevada 7 metros para favorecer el crecimiento del cultivo y el paso de la maquinaria.

Con la finalidad de evaluar los aspectos técnicos de producción de la planta, se ha testado con un programa de simulación llamado PVSyst.

La potencia pico nominal hace referencia a la potencia instalada máxima en las placas fotovoltaicas en KW. Para poder estudiar la potencia pico instalada necesaria, hay que tener en cuenta las variaciones de temperatura durante el año, estudiando el caso más favorable, a fin de escoger un inversor que pueda transformar esa potencia nominal.

Agosto va a ser el mes en el que se van a alcanzar mayores temperaturas, lo que quiere decir que la potencia pico nominal va a ser máxima.

Alejandra de Dios Cámara

Para analizar correctamente la potencia nominal pico máxima, se tiene en cuenta la irradiación global horizontal y la global incidente en la placa, ya que el periodo de tiempo donde más alta sea, la energía efectiva de salida del generador va a ser la superior. En este periodo de tiempo, los días son más largos, por lo que las placas tienen más energía recibida, siendo en estos la incidencia de rayos sobre las placas más perpendiculares. (ANEXO I)

Con esta instalación se tiene una potencia pico nominal de 405 Wp, lo que da una potencia nominal total bajo condiciones ideales específicas de 194.400 Wp (194,4 kW), 97,2 kWp en cada orientación.

También se analiza la potencia que se estima conseguir en condiciones de funcionamiento (50°C). Para calcularlo, se utiliza la ley de Ohm, teniendo en cuenta el voltaje en el punto máximo U_{MPP} y la corriente en el punto máximo I_{MPP} , siendo el punto máximo de potencia el producto de ambos.

$$P_{MPP} = U_{MPP} * I_{MPP}$$

Siendo (por subcampo):

- $U_{MPP} = 746 \text{ V}$
- $I_{MPP} = 119 \text{ A}$

Por lo que:

$$P_{MPP} = 746 \text{ V} * 119 \text{ A} = 88,7 \text{ kWp}$$

Lo que hace un total de 177,7 kWp

Una vez analizadas las condiciones pico de las placas fotovoltaicas, se puede estimar la producción de energía anual, siendo de 1.204 kWh/kWp/año, con un factor de rendimiento anual del 87,61%.

Alejandra de Dios Cámara

5.3.2 Inversor

En este apartado se discute el tipo de inversor seleccionado para el generador fotovoltaico.

Los inversores de corriente, también conocidos como convertidores, son dispositivos electrónicos que se encargan de transformar la corriente continua en corriente trifásica para que pueda ser utilizada sin que ocasione daños.¹¹

La corriente de entrada del inversor es de tipo continua (el voltaje es constante con respecto al tiempo). Para obtener corriente alterna de salida, se utiliza un circuito simple con dispositivos de apertura que solo tienen dos modos, modo ON (circuito abierto) y modo OFF (Circuito cerrado) de esta manera se consigue alternar la dirección de corriente obteniendo corriente alterna de tipo trifásica. La característica principal de este tipo de corriente es que es de forma escalonada, dado que el circuito del inversor se abre y se cierra de manera rápida. Para conseguir la salida de corriente con mayor semejanza a la curva de corriente alterna, a pesar de ser de tipo escalonada, se utilizan 50/60 Hz, que es la cantidad de veces que se abre y se cierra el circuito por segundo.

El inversor de corriente va a estar fabricado por Huawei Technology, siendo este un fabricante de origen chino y de gran reconocimiento en Japón. El modelo elegido es el SUN2000-40KTL-M3-400V, y para cubrir toda la demanda, se dispone de 4 inversores. Se ha elegido este inversor ya que el Inversor Huawei SUN2000-40KTL-M3 está preparado para trabajar en instalación trifásicas de conexión a red sin baterías.

Este modelo incorpora 4 MPPT “Maximum Power Point Tracker” con doble entrada para cada uno de ellos consiguiendo una potencia de salida máxima de 40 kW. Un MPPT es un regulador incorporado al inversor que consigue alcanzar la máxima potencia mediante un algoritmo matemático, por medio del cual se consigue conocer cuál es el punto más alto en el que se alcanza la máxima potencia para obtener un balance entre voltaje y corriente y poder trabajar en ese punto.

Incorpora monitorización a nivel de string con función integrada de monitoreo de voltaje y corriente a distancia para análisis de línea y solución de problemas, una amplia protección electrónica y el fabricante proporciona una garantía de 5 años.

Para poder analizar las características de corriente de entrada y de salida se estudia la corriente en esa zona. El inversor va a tener una tensión de entrada máxima de 1.500 V y una tensión nominal de salida de 230 VAC (voltios de corriente alterna). La potencia nominal activa de salida CA es la que se aprovecha como potencia útil, y es de 36,000 W, mientras que la potencia máxima aparente de salida CA, siendo la potencia total consumida por la carga es de 40,000VA.

Alejandra de Dios Cámara

El inversor elegido tiene un rango de temperaturas en operación de -25°C a 60°C y una eficiencia máxima de 98,7%. El umbral de potencia del inversor es de 36.000 W, por lo que serán necesarios 4 inversores para poder cubrir toda la energía producida por las placas.

5.3.3 Cableado

En este apartado se describe la cantidad de cable necesaria según los parámetros establecidos de seguridad.

La central agro-fotovoltaica va a ser de carácter exterior, por lo que es necesario un tipo de cableado duro y resistente. Se escogen cables de cobre frente a cables de aluminio, ya que el material es más dúctil, tiene una alta resistencia a tracción y muestra pocos signos de desgaste. Los conductores son homogéneos con aislamiento de polietileno de color negro.

Los conductores serán de aluminio, homogéneos con aislamiento de polietileno reticulado en color negro, según norma UNE 21123.

Se tienen en cuenta dos partes, la parte del cable que va a llevar corriente continua de la forma DC y la parte que porta corriente alterna del tipo trifásica.

Para ello se tienen en cuenta los siguientes criterios:

Criterio de caída de tensión (RBT): Este criterio establece la caída de tensión de un cable, siendo ésta a lo largo del cable menor que la máxima admisible. Para ello se establece que en corriente continua debe ser al menos 1,5% menor que la tensión nominal, y en corriente alterna un 2% menor que la tensión nominal.

Para calcular la caída de tensión en corriente continua monofásica, se emplea la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \rho \Delta V}{S}$$

Alejandra de Dios Cámara

Donde:

I: Intensidad cuando las placas funcionan en su máxima potencia.

L: Longitud del cable.

$\rho = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ es la resistividad del cable de cobre a una temperatura media de 20°C.

S: Sección del cable [mm^2].

ΔV : Caída de tensión.

Para corriente alterna, se usan los mismos criterios adaptados a corriente trifásica:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot \rho}{S}$$

Donde:

I: Intensidad cuando las placas funcionan en su máxima potencia.

L: Longitud del cable.

$\rho = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ es la resistividad del cable de cobre a una temperatura media de 20°C.

S: Sección del cable [mm^2].

ΔV : Caída de tensión.

Criterio de intensidad máxima: La intensidad máxima admisible es la cual puede establecerse en un conductor de forma fija sin que este llegue a sufrir ninguna consecuencia dañina. Para probar que los cables que se emplean van a aguantar el calor evacuado de esta corriente, se establece la corriente de cortocircuito de los paneles (la corriente máxima en condiciones normales), aplicando el coeficiente de seguridad de 1,25.

Este criterio se aplica tanto en corriente continua como en alterna.

Alejandra de Dios Cámara

$$l_{\text{diseño}} = 1,25 \text{ lcc}$$

Para comprobar este valor, se demuestran las indicaciones establecidas por el RBT (Reglamento electrotécnico para baja tensión), haciendo la siguiente comprobación:

$$l_{\text{diseño}} < l_{\text{max}}$$

El cálculo de la caída de tensión en trifásica (de la forma que sale del inversor) se calcula de la siguiente manera:

$$e \text{ (voltios)} = \frac{W \cdot L}{E \cdot C \cdot S}$$

$$W = \sqrt{3 \cdot 400 \cdot l \cdot \cos\phi}$$

Se considera por especificación del fabricante que $\cos\phi \geq 0,9$.

Siendo:

e: Tensión de línea entre dos conductores.

W: Potencia del receptor.

L: Longitud del cable [m].

C: Conductividad del material empleado;

Cobre = 56 y Aluminio = 35

S: Sección del conductor [mm²]

Alejandra de Dios Cámara

Para calcular las secciones de los conductores, se emplea la siguiente fórmula:

$$u = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot l \cdot \cos\theta}{C \cdot u}$$

S: Sección del conductor [mm²]

L: Longitud de la línea [m]

l: intensidad en máxima potencia.

Cosθ : Factor de potencia

u: Caída de tensión [V]

C: Conductividad del conductor, siendo en el cobre c = 56 [mΩ · mm²]

Para calcular la intensidad en máxima potencia se emplea la siguiente fórmula:

$$l = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot E \cdot \cos\theta}$$

Utilizando una tabla dinámica de Excel, se calculan los siguientes datos:

Alejandra de Dios Cámara

Corriente continua									
Inversor	Longitud	Imp _{pp}	Densidad	Sección	AV	AV%	I _{sc}	I _{max}	
	m		oh·mm ² /m	mm ²	V	(x<1,5)	A	A	
1	27	8,9	0,017	4	1,82	0,9 %	9,98	9,5	correcto
2	27	8,9	0,017	4	1,82	0,9 %	9,98	9,5	correcto
3	27	8,9	0,017	4	1,82	0,9 %	9,98	9,5	correcto
4	27	8,9	0,017	4	1,82	0,9 %	9,98	9,5	correcto

TABLA 3: CABLEADO CORRIENTE CONTINUA.

Corriente alterna (trifásica)	Longitud	Potencia	Imp _{pp}	Densidad	Sección	AV	AV%	I _{sc}	I _{max}	
	m	W	A	oh·mm ² /m	mm ²	V	(x<1,5)	A	A	
Inversor – Seleccionador cabecera	1	23,2	34	0,017	4	0,22	0,07	34	50	correcto
Derivación individual	20	92,8	144, 84	0,017	80	0,07	0,02	144,8 4	220	Correcto

TABLA 4: CABLEADO CORRIENTE ALTERNA.

La cantidad de cable necesario para esta plantación agrofotovoltaica va a ser una suma de **129m**. De esta forma, según los cálculos realizados, van a cumplir con los estándares establecidos de seguridad.

Alejandra de Dios Cámara

5.3.4 Producción anual esperada

Una vez establecidos todos los materiales técnicos, se calcula la producción anual esperada de manera precisa. Para ello hay que tener varios factores en cuenta como por ejemplo saber cuál será la radiación solar incidente en cada momento sobre las placas.

En teoría como a los paneles solares son de 380 W de potencia máxima esto lo que significa es que en condiciones óptimas van a generar esta energía por cada hora de sol que irradia las placas. La radiación solar depende de cada hora e inclinación con la que penetra las placas por lo que no es el dato más fiable.

Para obtener un dato más preciso, aparte de tener en cuenta la radiación solar incidente sobre las placas se tendrá en cuenta el ángulo con la cual está incide sobre las placas, siendo dependiente de la hora y el día del año en el que se realice el estudio. También es necesario calcular la pérdida de energía en el cableado o por situaciones adversas.

En este proyecto se van a menospreciar en un principio estas pérdidas en el cableado y el inversor ya que van a ser mínimas. Esto se debe a las nuevas tecnologías que llevan instaladas, como los MPP de los inversores, siendo en consecuencia estas pérdidas muy bajas.

Para realizar una estimación más precisa, se recopilarán los datos de manera mensual en vez de diario. Estos datos no dejan de ser una estimación ya que las temperaturas varían anualmente.

Según los cálculos, teniendo como referencia el año 2021 mediante la herramienta de PVsyst, se estima una producción de : **1.204 kWh/Kwp/ año.**

6. Organización de la obra

En el presente apartado se encuentran las dimensiones de la planta, los medios necesarios para realizar la obra, y una primera impresión de los plazos estimados.

6.1 Planteamiento de la Obra

En primer lugar, se cuenta con la contratación del director de obra, quien va a realizar el planteamiento de esta.

Tras los debidos estudios del director de Obra, y en un plazo de 25 días, se deberán presentar estas partidas de la obra:

- Planos definitivos de la planta, acopio de materiales y replanteo.
- Montaje de salas de máquinas.
- Montaje de cuadros eléctricos y equipos de control.
- Ajustes, puestas en marcha y pruebas finales.

En estas partidas de obra, se deberá incluir los plazos en el pliego de condiciones, con la mayor exactitud posible.

Una vez presentados todos los documentos, se procede a iniciar con el punto 1 de la ejecución de la obra siendo éste la obtención de permisos como las autorizaciones como las licencias de obra, la ocupación del terreno y las conexiones eléctricas punto el primer paso es el más importante de todo debido a que es del que depende de todo el proyecto.

Ya obtenidos todos los permisos necesarios para comenzar la obra se empieza con esta y con los servicios, aprobando el presupuesto y contratando al personal encargado de todo el material y la maquinaria necesaria. contando con todo el material y el personal contratado se procede a la ejecución del proyecto adecuando primero el terreno y montando la estructura y los paneles. Una vez esté todo adecuado se realizan las instalaciones eléctricas y las instalaciones de riego, después de esto se realiza una comprobación general para comenzar la puesta en marcha.

En la siguiente fase se realiza una prueba de que todo funcione adecuadamente, realizando la conexión a la red y sembrando la tierra y realizando la prueba de puesta

Alejandra de Dios Cámara

en marcha. Si todo sale bien y no hay ningún altercado que se deba de solucionar antes de la puesta en marcha, como algún fallo eléctrico, se realiza la puesta en marcha definitiva.

Los plazos establecidos ya nombrados son los siguientes:

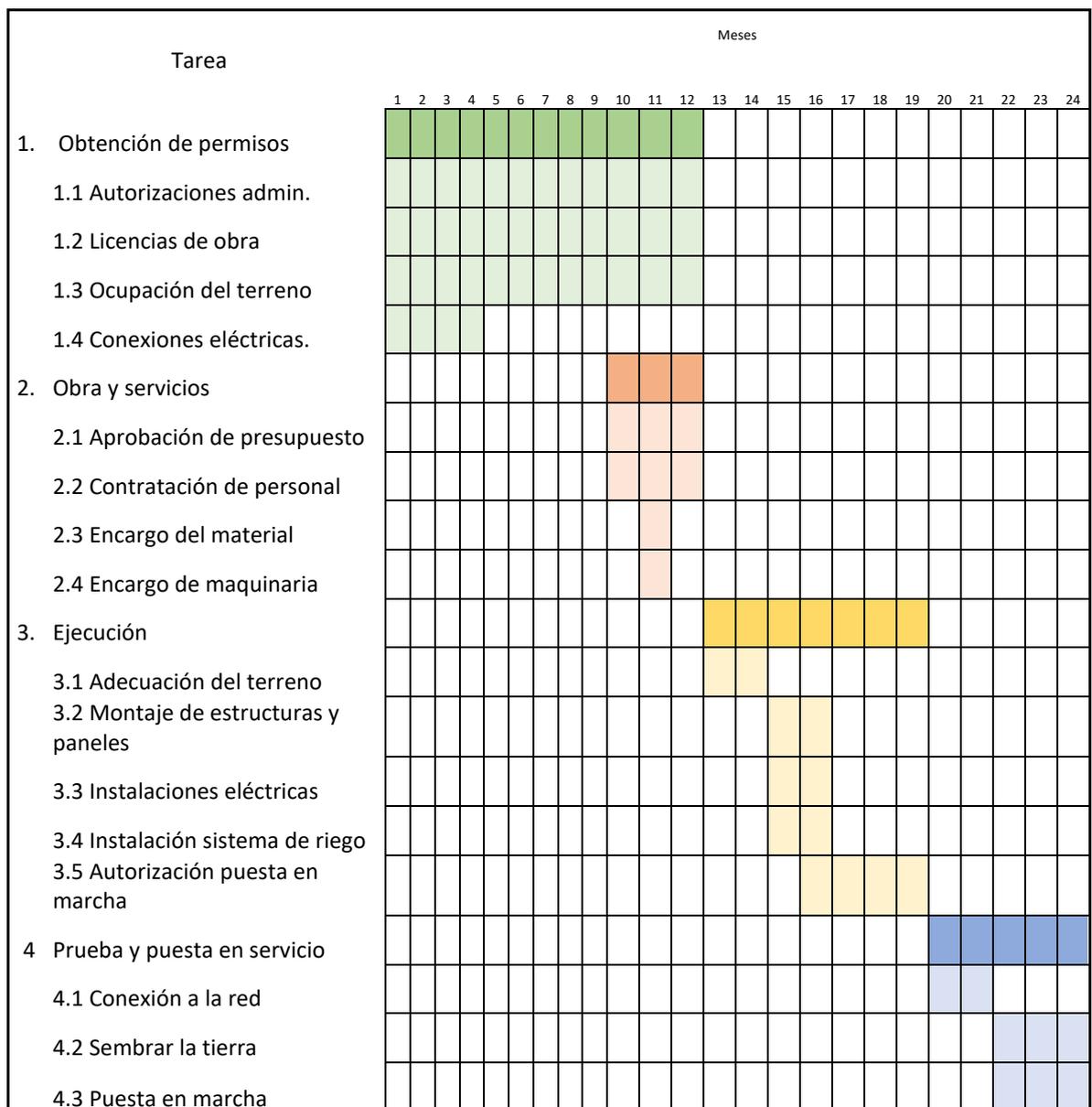


TABLA 5: PLAZOS DE PUESTA EN MARCHA DE LA CENTRAL.

6.2 Recepción provisional y definitiva. Puesta en marcha

La central agrofotovoltaica va a ponerse en funcionamiento en el mes 20 desde el inicio del proyecto, esto quiere decir que el día uno del veinteavo mes, se empezarán a realizar todas las conexiones necesarias para la puesta en marcha, dado que todos los componentes de la central estarán para esa fecha ya colocados y listos para testar la central.

Todos los puntos anteriores a la prueba y puesta en servicio deben de estar supervisados por el ingeniero, formándose este a su vez para poder llevar el adecuado control de la central.

Antes de realizar la conexión a la red eléctrica, se realizan las conexiones de las placas, el inversor y el riego. En el momento en el que se empiezan a realizar todas las conexiones, es de vital importancia comprobar los indicadores de peligro de las tomas donde haya corriente. Esta actividad debe realizarla el ingeniero que supervisa las obras. Si hay algún fallo en el sistema, se debe de paralizar todo el mecanismo antes de realizar las conexiones con la red eléctrica, hasta que esta alarma esté solventada.

Hay indicadores clave aparte de las alarmas incorporadas en el cuadro eléctrico a los que hay que prestar atención especial. Durante la puesta en marcha, se debe de comprobar diariamente con un voltímetro (herramienta que mide el voltaje en KW).

6.3 Plan de Mantenimiento

Para poder preservar todo el trabajo realizado es necesario disponer de un plan de mantenimiento eficiente ya que para la realización de éste se contará con el trabajo del agricultor que trabajará en la central.

Se trata de un punto muy importante debido a que de él depende la longevidad de la central agrofotovoltaica. Si se siguen todos los puntos del plan de mantenimiento es más probable que los materiales de esta se desgasten menos, por lo que dure más tiempo. También, la central va a ser más efectiva ya que no va a perder rendimiento al cabo de los años tan rápidamente.

Por un lado, los paneles y todo el sistema eléctrico necesitan una comprobación anual de calidad. Esto consiste en verificar que todas las conexiones siguen funcionando correctamente, y que todo el material esté en buen estado. Estas comprobaciones deben hacer el ingeniero que certifique que todo funciona correctamente, las placas solares, el inversor, el cableado, el cuadro eléctrico y las conexiones a red.

Alejandra de Dios Cámara

Para el mejor funcionamiento de las placas solares, la principal medida de mantenimiento es su debida limpieza. Todas las placas solares se deben limpiar por ambas caras utilizando material concorde que no dañe el material de las placas. Una incorrecta limpieza de las placas puede obstruir el paso de los rayos solares por lo que el rendimiento desciende exponencialmente, y con ello, la obtención de ingresos.

La parte agrícola también va a sufrir su debido mantenimiento punto el mantenimiento de esta sección es proporcional al cultivo que se genera. Si no se lleva un correcto seguimiento y comprobación de la calidad de la tierra, esta pierde nutrientes y minerales, por lo que la planta va a salir menos fuerte y de menos calidad. El agricultor se va a encargar de comprobar que las plantas tengan buena apariencia y de cambiar la tierra No obstante una vez llegado el cultivo a la fábrica se le realiza un procedimiento de calidad, para comprobar que éste ha sido cultivado en buen estado.

7. Estudio de viabilidad económica.

Con respecto a la agricultura, puede ser necesario formular un plan agrícola, como seleccionar el tipo de cultivo, teniendo en cuenta sus características y el material necesario para llevarlo a cabo. En cuanto a la generación de energía solar, se requieren los mismos trámites que se necesitarían para implementar una central fotovoltaica, como celebrar un contrato de conexión con una empresa de energía eléctrica y acreditar el plan de negocios FIT del Ministerio de Economía, Comercio e Industria.

7.1 Estudio costes

Para analizar los costes que va a conllevar la central agrofotovoltaica durante su puesta en marcha, podemos diferenciar dos tipos de costes.

Por un lado, tenemos los costes fijos y por otro lado los costes variables. Los costes fijos son aquellos que se van a pagar al principio y que no va a ser necesario volver a pagar. Por otro lado, los costes variables son aquellos que vamos a tener que pagar a lo largo de los meses o estacionariamente.

En este caso, los costes fijos van a ser para la parte común, la estructura que va a crear el efecto invernadero, esta estructura se compra al principio del proyecto y se utiliza durante el mismo.

Por la parte fotovoltaica va a ser necesario la compra de las placas fotovoltaicas, de las estructuras de sujeción de los paneles, los inversores necesarios, el cuadro eléctrico, el sistema informático, los metros de conductor de cobre que conectan las placas con el inversor, y el inversor con la red eléctrica y por último las conexiones al centro de transformación. Sin embargo, por la parte agrícola, va a ser necesario comprar 10 sistemas de riego instalando dos por cada 3 hileras de paneles cubriendo así todo el cultivo. También será necesaria las semillas del té ya maduras, el fertilizante, el instrumental de cultivo y la tierra necesaria para que las plantas crezcan.

Los costes variables van a ser aquellos que será necesario pagar todos los meses, en este caso primero se hace un estudio de los costes del primer mes, y luego se evalúa lo que se va a necesitar pagar durante el resto de los meses hasta la puesta en marcha de la central, Haciéndose cargo de estos el inversor de esta.

Estos costes variables son: los sueldos de los trabajadores siendo estos un ingeniero, dos personas que aportan la mano de obra y un agricultor. El alquiler del terreno, haciendo este mensual dado que el alquiler se paga directamente a un agricultor que cede las tierras. La unidad de seguridad y salud, un seguro para los cuatro trabajadores que es obligatorio en Japón.

Alejandra de Dios Cámara

Los costes variables se pagan por la empresa constructora los primeros dos años que es lo que tarda esta central en ponerse en marcha. Una vez pasado este periodo de tiempo, estos costes los pagará el inversor mensualmente.

Unidades	Designación	precio por unidad		Coste final	
		yen (¥)	euros (€)	yen (¥)	euros (€)
480	Ud. de paneles fotovoltaicos	88,420.50 ¥	630.00 €	42,441,840.00¥	302,400.00€
4	Ud. de inversor	1,449,815.50 ¥	10,330.00€	5,799,262.00 ¥	41,320.00€
1	Ud. de estructura de sujeción de paneles	16,842.00 ¥	120.00 €	16,842.00 ¥	120.00 €
1	Ud. de cuadro eléctrico	901,047.00 ¥	6,420.00 €	901,047.00 ¥	6,420.00 €
1	Ud. de sistema informático	359,296.00 ¥	2,560.00 €	359,296.00 ¥	2,560.00 €
129	Metros de conductor de cobre	4,491.20 ¥	32.00 €	579,364.80 ¥	4,128.00 €
10	Sistema de riego	16,842.00 ¥	120.00 €	168,420.00 ¥	1,200.00 €
500	Semillas de té ya maduras	421.05 ¥	3.00 €	210,525.00 ¥	1,500.00 €
100	Fertilizante	1,684.20 ¥	12.00 €	168,420.00¥	1,200.00 €
5	Instrumental de cultivo	70,175.00 ¥	500.00 €	350,875.00 ¥	2,500.00 €
100	Tierra	561.40 ¥	4.00 €	56,140.00 ¥	400.00 €
1	Ud. de conexión al centro de transformación	378,945.00 ¥	2,700.00 €	378,945.00 ¥	2,700.00 €
1	Ud. de seguridad y salud	421,050.00 ¥	3,000.00 €	421,050.00¥	3,000.00€
1	Ud. de Ingeniería	18,245,500.00 ¥	130,000.00 €	18,245,500.00¥	130,000.00€
2	Ud. de mano de obra	421,050.00 ¥	3,000.00 €	842,100.00 ¥	6,000.00 €

Alejandra de Dios Cámara

1	Ud. de agricultor	421,050.00 ¥	3,000.00 €	421,050.00 ¥	3,000.00 €
1	Ud. de maquinaria	168,420.00 ¥	1,200.00 €	168,420.00 ¥	1,200.00 €
1	Ud. de transporte	84,210.00 ¥	600.00 €	84,210.00 ¥	600.00 €
1	alquiler del terreno	430,000.00¥	3,063.77 €	430,000.00 ¥	3,063.77 €
Total		23,479,820.85¥	167,294.77€	72,043,306.80¥	513,311.77 €

TABLA 6: COSTES FIJOS.

Siendo los costes variables, que va a ser necesario pagarlos durante dos años;

Unidades	Designación	precio por unidad		Coste final	
		yen (¥)	euros (€)	yen (¥)	euros (€)
1	alquiler del terreno	430,000.00 ¥	3,063.77 €	430,000.00 ¥	3,063.77 €
1	Ud. de Ingeniería	18,245,500.00¥	130,000.00€	18,245,500.00 ¥	130,000.00 €
2	Ud. de mano de obra	421,050.00 ¥	3,000.00 €	842,100.00 ¥	6,000.00 €
1	Ud. de agricultor	421,050.00 ¥	3,000.00 €	421,050.00 ¥	3,000.00 €
1	Ud. De agua	4.195.98¥	30.00€	100.703.46 ¥	690€
Total		19,521,600.00¥	139,093.77 €	20,038,650.00 ¥	142,753.77 €

TABLA 7: COSTES VARIABLES.

Alejandra de Dios Cámara

Se tiene en cuenta los costes iniciales fijos del primer mes (513,311.77 €) y los costes que variables que se dan los siguiente 23 meses hasta la puesta en marcha de la central, ($142,053.77 \text{ €} \times 23 = \text{€ } 3,267,466.69$).

Total, necesario para realizar el proyecto:

Costes fijos + Costes variables = $513,311.77 + 3,267,466.69 = \underline{\underline{3,780,778.46 \text{ €}}}$

7.2 Estudio Beneficios.

Para poder realizar un estudio de los beneficios de la planta, se analizan los beneficios que conllevan la parte agrícola y la parte fotovoltaica por separado.

7.2.1 Agricultura

Para estimar los beneficios que se obtendrán con este sector, primero hay que analizar las cantidades de cultivo que se estiman anualmente.

En primera instancia, se plantan 500 semillas de árbol del té ya fertilizadas, lo que conlleva 850 m² de cultivo. Una vez estén listas las plantas, y sean totalmente fértiles al cabo de un periodo de dos años, la cosecha del té se realiza una vez al año. Según el terreno, se estima recolectar entre 16 y 24 kg diarios, durante el periodo de recolecta una semana, y siendo cada kilo 0,25% útil para hacer té.

7.2.2 Energía fotovoltaica

Los beneficios que provienen de la energía fotovoltaica de la central se estiman mediante el cálculo de la producción anual estimada.

Para poder calcular la producción anual de las placas, se hace una relación entre la radiación solar incidente en cada periodo de tiempo y la capacidad de absorción de esta que tienen las placas. Esta relación es variable dependiendo de la época del año, ya que la radiación varía por horas al día y época del año, siendo la incidencia sobre las placas también variable.

Alejandra de Dios Cámara

A esta cantidad hay que restarle las pérdidas por factores externos, ya pueden ser perdidas por cableados, por apagones eléctricos, por fallos en la tecnología conectada a la red, ...

Para obtener la producción anual, se utiliza la simulación realizada con la herramienta PVSystem.

Mediante esta herramienta se obtienen los siguientes datos:

- Energía producida anual: 234,1 MWh/año.
- Producción específica anual: 1.204 MWh/KWp/año.
- Proporción de rendimiento de un 87,61%.

La energía producida anual es la energía real que va a crear la central agrofotovoltaica, teniendo en cuenta factores como la radiación y la inclinación de esta. La producción específica anual es la energía ideal que producirán las placas. La proporción de rendimiento es el factor que comprara ambas, siendo la energía producida real entre la energía producida teórica.

Teniendo en cuenta la energía producida anual se pueden calcular los beneficios estimados de la central:

El precio de venta de la energía en Japón es de 30,90 ¥ por kWh, o lo que es lo mismo 0,21 € por kWh.

Los beneficios anuales estimados son:

$$0,21 \text{ €/ kWh} \times 234100 \text{ kWh/año} = 49.161 \text{ €/año}$$

$$30,90 \text{ ¥ / kWh} \times 234100 \text{ kWh/año} = 7.233.690 \text{ ¥/año}$$

7.3 Viabilidad

Para el correcto estudio de la viabilidad del proyecto, es necesario saber el retorno que va a tener el proyecto una vez se invierta en él. Para ello se tienen en cuenta diferentes factores.

Alejandra de Dios Cámara

i. TIR y VAN

La “Tasa interna del retorno” o “TIR” y el “Valor Actual Neto” o “VAN” son los parámetros que indica la rentabilidad que puede llegar a ofrecer una inversión inicial en un proyecto.

El “VAN” nos permite hacer una comparación entre diferentes proyectos, para ver cuál es la mejor inversión. Sin embargo, El “TIR” no compara entre proyectos, pero hace una estimación del periodo de tiempo que llevará recuperar la inversión inicial.

$$VAN = \sum_{n=0}^{24} \frac{\text{ingresos}(n) - \text{gastos}(n)}{(1+i)^n}$$

Realizando esta operación se obtiene un VAN de: **614.628,62 euros**

A esta cantidad hay que descontarle el valor de la inversión inicial necesaria sin tener en cuenta los costes variables, la cual es de **-513,311.77 euros**.

Realizando esta operación, se obtiene una cantidad de 11.316,85 euros. Al ser este valor positivo significa que la central agrofotovoltaica va a producir ganancias.

Para calcular el TIR, es necesario calcular el tipo de interés que van a hacer 0 el VAN y en qué periodo de tiempo. Por lo tanto, sustituyendo en la fórmula anterior y teniendo en cuenta que se estima una vida útil de 30 años, el **TIR = 5, 22 %**

Según los datos obtenidos en el TIR y el VAN, califican este proyecto como viable a largo plazo.

8. Pliego de condiciones

En esta sección se define todo lo referente a los pliegos de condiciones.

8.1. Política energética de Japón

De acuerdo con el experto en los mercados energéticos Paul Scalise, tanto la regulación del sector eléctrico como, en general, las políticas energéticas en Japón durante el siglo XX se pueden calificar de “reaccionarias”¹². Las decisiones en materia energética previas al siglo XXI se caracterizaban por la ausencia de un plan energético definido integralmente.

En 1974, se establece el “*Dengen Sanpo*”, que consta de tres leyes que regulan la generación de energía en Japón. En su desarrollo intervienen políticos, funcionarios de alto rango y empresarios relacionados con el sector energético.¹³ Esta serie de leyes tiene como objeto crear un marco legal para la toma de decisiones acerca de los lugares en los que se debían edificar las centrales nucleares. La nuclearización de la energía en Japón se consideró una prioridad en la década de los 70 como respuesta a las dos grandes crisis del petróleo de 1973 y 1979.¹² Aldrich señala en su obra *Site Fights*¹³ que las zonas rurales con un nivel inferior de educación y en las que se había producido un mayor éxodo a las grandes ciudades tendían a aceptar mejor las inversiones de empresas eléctricas. Estas inversiones se ven como una oportunidad para la creación de empleo y la mejora de la economía de la región.¹³

La primera de las leyes que componen el “*Dengen Sanpo*” establece un impuesto extraordinario que graba la factura eléctrica para generar ingresos que se destinan a campañas que promueven la energía nuclear y su potencial para suplir a las alternativas que requieren la combustión de petróleo para la generación energética. La segunda ley se encarga de la creación de una cuenta especial en la que se ingresa el impuesto establecido por la primera ley.¹³ La tercera, por su parte, está destinada a reglar la utilización de los fondos de la mencionada cuenta especial. Por la tercera ley, se pretende favorecer a los municipios cercanos a las nuevas centrales nucleares mediante subsidios e invirtiendo en obra pública.¹³ El ministerio encargado de administrar estas leyes era el *Ministry of International Trade and Industry*, que tenía una gran capacidad de decisión a la hora de administrar los recursos energéticos y los ingresos que generaban.¹³

La década de los 80 está marcada en Japón por un intento de diversificar las fuentes de energía de las que dependen. Las crisis del petróleo de la década de los 70 habían dejado de manifiesto la fragilidad del sector energético. Se empieza a introducir el concepto de seguridad energética. Para ello, Ronald A. Morse, el entonces director de

Alejandra de Dios Cámara

Asia Oriental, establece y resume en cinco puntos la estrategia que Japón debe seguir en materia energética¹³:

1. Desarrollo de las actividades de localización, inventariado y explotado de las reservas de petróleo y gas natural, así como optimizar la explotación de las fuentes energéticas existentes en Japón.
2. Ampliación y desarrollo de alternativas a la energía proveniente del petróleo: como principal alternativa Morse propone la energía nuclear, pero propone otras alternativas como el carbón o el gas natural licuado.
3. Establecer relaciones sólidas y duraderas con los países productores de petróleo, y diversificar las fuentes de las que se importa.
4. Desarrollo de campañas dedicadas al fomento del ahorro de energía y establecimiento de ayudas para la investigación y desarrollo de nuevas técnicas para la explotación energética.
5. Almacenamiento de petróleo para facilitar la gestión de futuras crisis energéticas o interrupciones puntuales de suministro.

En el año 1979 se aprueba la Ley para la Conservación de la Energía, que pretende disminuir el consumo de energía tanto a nivel empresarial e industrial como a nivel personal y de transporte.¹² Esta ley obliga a las empresas a comunicar su consumo eléctrico al MITI (*Ministry of International Trade and Industry*). Esta ley recoge también la instauración de un programa destinado a la innovación tanto en la generación y transporte de energía como en la fabricación de equipos con un bajo consumo eléctrico. Este programa, aún vigente, ha demostrado ser altamente efectivo para mejorar la eficiencia de los vehículos, electrodomésticos y paramenta eléctrica producidos en Japón.

A comienzos del siglo XXI, se aprueba la Ley Básica de Política Energética. Esta ley no establece los objetivos cuantitativos que se deben perseguir, sino que crea un marco legal en el que el gobierno puede formular un plan energético general.¹³ Si establece las líneas de acción y los objetivos que se deben perseguir los planes. Los temas más relevantes que trata el decreto son la seguridad energética, la sostenibilidad económica en el medio-largo plazo y objetivos relacionados con la sostenibilidad del entorno.

8.2. Seguridad

Se definen todas las normas de seguridad que se deben seguir en este proyecto para evitar todo tipo de accidentes. Para llevar a cabo este apartado es

Alejandra de Dios Cámara

muy importante tener en cuenta el apartado de mantenimiento, debido a que sin un buen mantenimiento es más probable la aparición de situaciones poco seguras.

Las normas de seguridad se establecerán según el plan de salud coma seguridad y protección donde se describen los procesos y procedimientos de HSS&E (salud, seguridad, protección y medio ambiente).

8.2.1. En el Trabajo

Para poder realizar el presente proyecto es necesario la firma de un documento en el que se explica todos los requisitos que se deben de cubrir, y los estándares de salud y seguridad necesarios para todo el personal involucrado durante la construcción de la planta fotovoltaica. Estas normas se aplican a todos los empleados, a subcontratistas y proveedores de servicios que estén involucrados en ella.

En este documento se recogen diferentes puntos, por ejemplo, se define accidente, considerando los incidentes con contacto accidentes. Por otro lado, se definen las medidas de prevención de riesgos que se van a adoptar, como por ejemplo facilitar gratuitamente todo el material de protección como casco y arnés a los trabajadores siendo obligatorio el uso de este.

Será de carácter obligatorio la realización de un curso de prevención de riesgos laborales, donde se formará a los trabajadores con nociones de seguridad Y salud en el trabajo, verbigracia cómo usar correctamente el material de seguridad, la maquinaria de cultivo, y nociones básicas de cómo trabajar con corriente eléctrica.

La empresa constructora de la central es la encargada de que este plan de seguridad se lleve a cabo, siendo responsable de la implementación de este y del cumplimiento por parte de todos los trabajadores, a debido a que las consecuencias recaen directamente sobre la misma.

8.2.2. Según Ordenanzas

Para la debida comprensión de este término, es necesario comprender lo que significa Ordenanza: *“termino para nombrar al tipo de norma jurídica que forma parte de un reglamento y que está subordinada a una ley. La ordenanza es emitida por la autoridad que tiene el poder o la facultad para exigir su cumplimiento.”* ¹⁵

Alejandra de Dios Cámara

Japón tiene una legislación básica para empresas medianas y pequeñas dada a conocer desde el 20 de julio de 1963, además de dos reformas aplicadas, la primera en 1973 y la segunda en 1983 (jica,1996).¹⁶

8.3. Legislación y normativa aplicable

En este apartado, es necesario diferenciar dos casos; por un lado la legislación de campos agrícolas y por otro lado, la legislación de energías renovables en este caso energía solar.

Cuando se trabaja en la generación de energía solar tipo agro-fotovoltaica, es necesario continuar cultivando adecuadamente en las tierras de cultivo debajo del panel solar, y cuando se instala el equipo, se requiere un permiso de desvío temporal basado en la Ley de Tierras Agrícolas.²²

Los paneles deben de cumplir la siguiente normativa : ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product , siendo estas estándares reconocidos a nivel internacional obligatorios para este producto. Las normas ISO gestionan la calidad y están establecidas por la Organización Internacional de Normalización.¹⁷

El inversor cumple con los estándares de conexión a red eléctrica, siendo los estándares que cumple los siguientes según la ficha técnica:

IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, AS/NZS 4777.2, DEWA

Algunos de los mismos son verbigracia la comisión electrotécnica nacional, dónde se describe el cumplimiento de los requisitos de conexión del sistema fotovoltaico a la red eléctrica o la federación alemana de industrias electrotécnicas. Esta se encarga de realizar la normalización de campos electrotécnicos. Estas normas se aplican a inversores que trabajan con media tensión, y es un control de calidad.

La legislación en el campo agrícola se basa en que el cultivo tiene que pasar por unos controles de calidad cada vez que es llevado a la fábrica para tratarse. De esta forma se puede ver si ha sido cultivado con los estándares de calidad del agua y del ambiente, haciendo que sea un producto fiable y de calidad. Para ello, se evalúa el color, el tamaño y la composición de la planta.

8.4. Condiciones de ejecución

Para la debida realización de este proyecto, antes se ha de firmar un contrato PPA (*Power Purchase Agreement*). Este contrato es un acuerdo financiero que recoge los pasos que se han de seguir para la compraventa de energía limpia. Consiste en que una empresa privada organiza la parte técnica del diseño, abarcando todas las características para ofrecer sus servicios y la implementación del proyecto.²³

Una vez se haya firmado toda la certificación necesaria para la puesta en marcha de este proyecto, será necesario un control de calidad realizado por una persona especializada.

9. Conclusiones

En este proyecto relatan todos los pasos que es necesario seguir para la implementación de una central agrofotovoltaica. Se realizan todas las especificaciones técnicas para desarrollar la parte agrícola y la parte fotovoltaica.

El cultivo será la planta del té, llegando a tener 500 plantas. La central va a implementar la estructura de tipo invernadero, consiguiendo así aumentar el rendimiento del cultivo y de las placas en un 50%. El cultivo producido por esta central, será el necesario para cubrir el abastecimiento del país y poder exportar para generar mayores ingresos.

La parte del generador fotovoltaico consta de 480 placas fotovoltaicas bifaciales, situados en cadenas de 24 strings con 20 placas fotovoltaicas en serie. Para ello, se utilizan 4 inversores y 128m de cableado.

El resumen general de la parte fotovoltaica es el siguiente:

- Potencia nominal instalación: 194 kW
- Fabricante de los módulos: Jinkosolar
- Potencia nominal inversor: 160 kW
- Fabricante de los inversores: Huawei Technology

La parte fotovoltaica va a tener una producción específica anual de **1.204 kWh/Kwp/año**, siendo esta cantidad la necesaria para abastecer toda la región de Chubu.

En término, con este proyecto se van a cubrir las necesidades conforme al té y al abastecimiento energético, y a solventar los diferentes problemas como la necesidad de carbonizar la energía, la falta de espacio y la inclusión de agricultores en este sector.

10. Bibliografía

1. *Emisiones de CO2 2020*. (z.d.). datasmacro.com. visto 17 junio 2022, van <https://datasmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2>
2. *Consumo de electricidad 2021*. (z.d.). datasmacro.com. visto 29 mayo 2022, van <https://datasmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo>
3. *Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., & Unamunzaga Falcón, P. (2008). Energías renovables y eficiencia energética.* <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
4. Departamento Marketing. (2022, 2 marzo). *Shizuoka Numazu, el proyecto de Agrovoltaica de Univergy Solar en Japó*. Univergy Solar. visto 17 junio 2022, van <https://www.univergysolar.com/shizuoka-numazu-agrovoltaica/>
5. colaboradores de Wikipedia. (2020, 25 noviembre). *Prefectura de Shizuoka*. Wikipedia, la enciclopedia libre. visto 17 junio 2022, van https://es.wikipedia.org/wiki/Prefectura_de_Shizuoka
6. *Honshu*. (2016, 19 abril). GaijinPot Travel. visto 17 junio 2022, van <https://travel.gaijinpot.com/destination/honshu/>
7. P. (2022, 25 de marzo). Un viaje por la cultura japonesa del té . Japón Secreto. Recuperado el 28 de abril de 2022 <https://japon-secreto.com/un-viaje-por-la-cultura-japonesa-del-te/>

8. Pizarro, E. P. J. (2015, 25 febrero). *Particularidades del riego por aspersión*. Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura. visto 17 junio 2022, van <https://agriculturers.com/particularidades-del-riego-por-aspersion/>
9. *Paneles fotovoltaicos bifaciales*. (2007, 5 abril). YUBA. visto 6 marzo 2022, van <http://www.yubasolar.net/2015/03/paneles-fotovoltaicos-bifaciales.html>
10. Escoda, S. (2017, 27 noviembre). *Energética y geometría solar*. El Blog del Instalador. visto 17 junio 2022, van <https://elblogdelinstalador.com/energetica-y-geometria-solar/>
11. S. (2020, 21 diciembre). Qué es y cómo funciona un inversor de corriente. Blog de energía solar. visto 8 mayo 2022, van <https://solarplak.es/energia/que-es-y-como-funciona-un-inversor-de-corriente/>
12. *Paul Scalise*. (z.d.). Dr. Paul J. Scalise. visto 17 junio 2022, van https://www.uni-due.de/in-east_former_website/about-us/in-east-school/paul-scalise/
13. *Product Details*. (2021, 4 november). Cornell University Press. Geraadpleegd op 17 juni 2022, van <https://www.cornellpress.cornell.edu/book/9780801457012/site-fights/#bookTabs=1>
14. Morse, Ronald A. y University of California, Berkeley (Eds.) (1981): The politics of Japan's energy strategy: resources-diplomacy-security, Berkeley, Institute of East Asian Studies, University of California, pp. 1-3.
https://digitalassets.lib.berkeley.edu/ieas/IEAS_03_0002.pdf
15. Definición de ordenanza — *Definicion.de*. (z.d.). Definición.de. visto 15 junio 2022 <https://definicion.de/ordenanza/>

16. Camarena, D. E. S. (2005). Temas varios del Pacífico. Análisis comparativo de la legislación de la pequeña y mediana empresa (pymes) en México y Japón. *México y la Cuenca del Pacífico*, 8(25), 43-49.
<https://www.redalyc.org/pdf/4337/433747638006.pdf>
17. Alonso, C. (2022, 24 mei). *¿Qué son las normas ISO?* GlobalSuite Solutions. visto 06 junio 2022, van <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-son-normas-iso/#:%7E:text=Las%20normas%20ISO%20son%20un,de%20productos%20en%20la%20industria.>
18. Ambiental, A. P. (2021, 16 junio). *El 80% de la electricidad se genera con combustibles fósiles.* Ambientum Portal Lider Medioambiente. visto 19 juni 2022, van <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/80-de-la-electricidad-se-genera-con-combustibles-fosiles.asp#:%7E:text=Entre%202009%20y%202019%2C%20el,%25%20al%2080%2C2%25.>
19. *Proyectos de Invernaderos en ASIA - India - Vietnam - Japón - Abu Dhabi.* (z.d.). Novogric. visto 06 junio 2022, van <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/proyectos-invernaderos/asia>
20. *Japón: seguridad energética con alta dependencia externa y desnuclearización progresiva.* (2022, 25 abril). Real Instituto Elcano. Visto 03 junio 2022, van <https://www.realinstitutoelcano.org/documento-de-trabajo/japon-seguridad-energetica-con-alta-dependencia-externa-y-desnuclearizacion-progresiva-dt/>

21. *Las consecuencias del accidente nuclear de Fukushima – Informe del OIEA de 2015.* (z.d.). Accidente nuclear Fukushima. visto 02 junio 2022, van <https://www.greenfacts.org/es/fukushima-consecuencias/index.htm>
22. Medela, C. E. J. (2021, 19 agosto). *AGROVOLTAICA: COMPLEMENTAR PROYECTOS AGRÍCOLAS CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA.* Tu blog de Autoconsumo fotovoltaico y energía renovable. Visto 5 junio 2022, van <https://www.cambioenergetico.com/blog/agrovoltaica-complementar-proyectos-agricolas-con-energia-fotovoltaica/>
23. D. (2021, 26 abril). *¿Qué es un PPA? - dexentralize.* Medium. visto 5 junio 2022, van <https://medium.com/dexentralize/que-es-un-ppa-81e94cdb2214>
24. Menéndez, J. (2022, 9 mayo). *Reflexiones sobre las implicaciones energéticas de la guerra en Ucrania.* Instituto Vasco de Competitividad. visto 3 abril 2022, van <https://www.orquestra.deusto.es/es/actualidad/noticias-eventos/beyondcompetitiveness/2374-reflexiones-sobre-implicaciones-energeticas-guerra-en-ucrania>
25. *Introducción a la energía fotovoltaica - La radiación solar - Inversores fotovoltaicos para instalaciones de todos los tamaños/ AROS Solar Technology.* (z.d.). Clasificación de la radiación. visto 21 junio 2022, van <http://www.aros-solar.com/es/la-radiacion-solar>
26. 営農型太陽光発電 取組支援ガイドブック. (n.d.). Farming Photovoltaics.

Alejandra de Dios Cámara

ANEXO I – Clima

Los siguientes datos se han obtenido mediante el programa informático de simulación fotovoltaica PVSYST.

En la siguiente tabla, se hace una recopilación de valores del pasado año 2020 de cada mes:

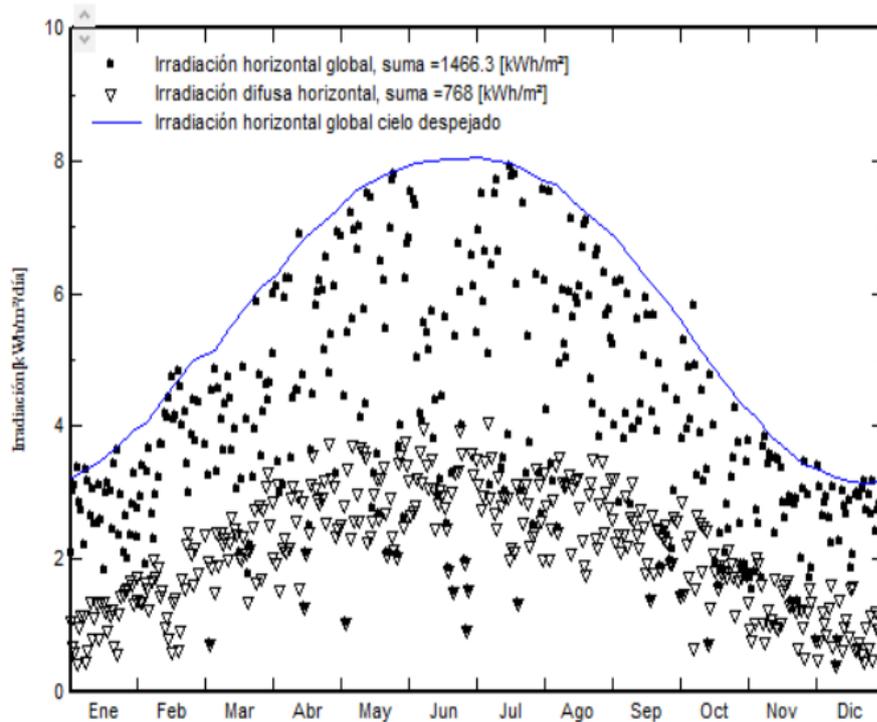
Sitio geográfico	Situación
Shizuoka/Kikugawa	Latitud 34.74 °N
Japón	Longitud 138.13 °E
	Altitud 159 m
	Zona horaria UTC+9

Valores meteo mensuales

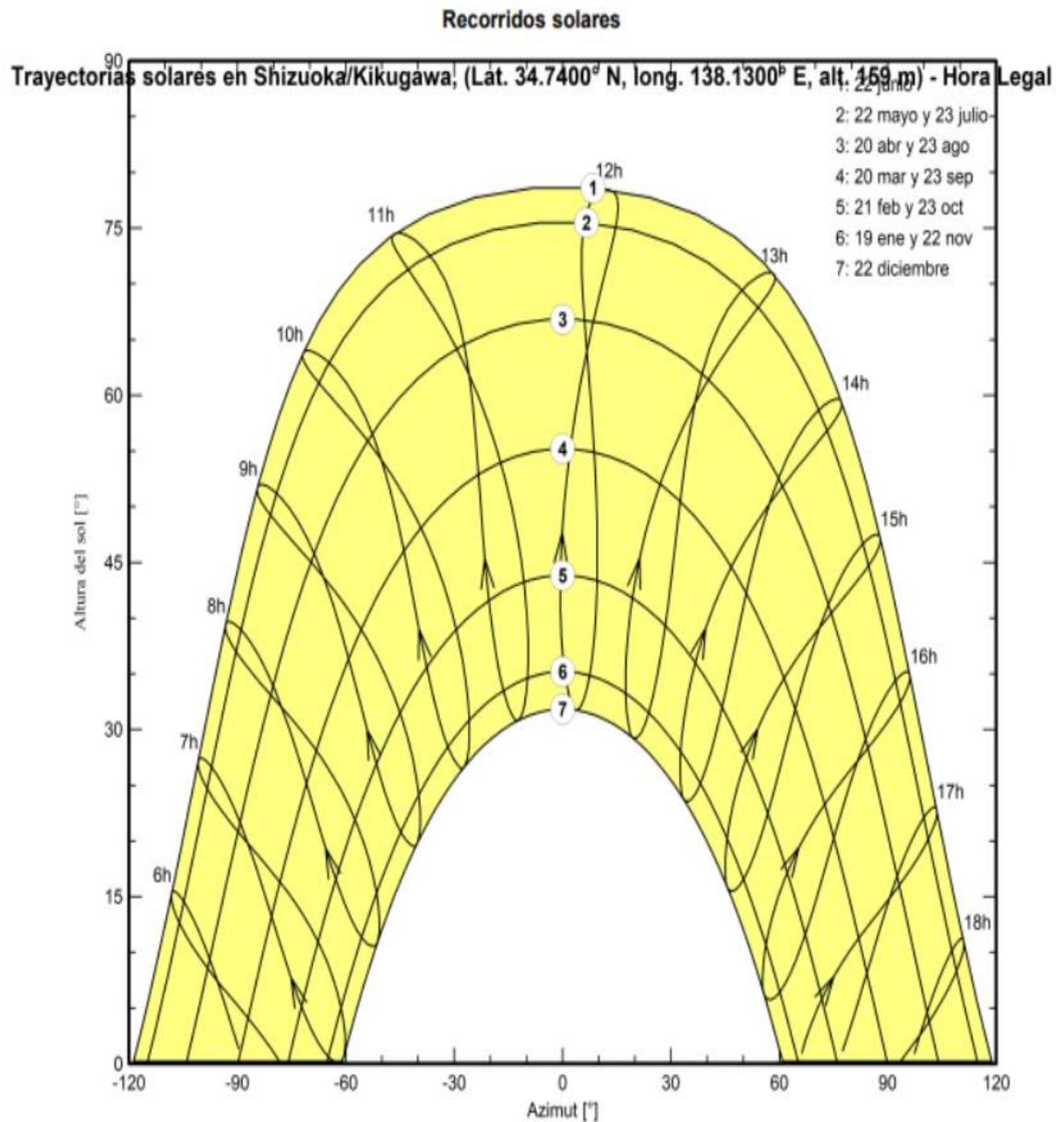
Fuente: Meteornorm 8.0

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	
Horizontal global	85.5	102.7	119.3	144.8	160.6	137.1	161.1	170.8	122.7	101.5	81.2	78.8	1466.1	kWh/m ²
Difuso horizontal	34.4	42.6	69.4	78.3	88.4	86.9	86.7	87.8	70.9	56.8	37.1	28.5	767.8	kWh/m ²
Extraterrestre	160.0	185.2	257.3	300.0	344.2	346.2	351.5	324.5	269.4	223.4	166.8	146.9	3075.4	kWh/m ²
Índice de claridad	0.534	0.555	0.464	0.483	0.467	0.396	0.458	0.526	0.455	0.454	0.487	0.536	0.477	proporción
Temp. ambiente	6.0	7.0	10.0	14.5	18.7	21.6	26.1	27.7	24.1	19.3	13.7	8.6	16.4	°C
Velocidad del viento	4.8	4.6	4.6	4.1	3.5	3.3	3.3	3.2	3.3	3.5	3.7	4.6	3.9	m/s

Meteo para Shizuoka/Kikugawa - Datos generados sintéticamente a partir de valores mensuales



Alejandra de Dios Cámara



Alejandra de Dios Cámara

ANEXO II - Simulación placas

Se define las características técnicas del inversor y las placas fotovoltaicas, realizando un estudio con un programa de simulación de centrales fotovoltaicas que se llama PVSYST.

PVsyst - Informe de simulación

Sistema conectado a la red

Variante: PLANTACIÓN AGRO-FOTOVOLTAICA.
Potencia del sistema: 194 kWp
Shizuoka/Kinugawa - Japón

Resumen del proyecto

Sitio geográfico

Shizuoka/Kikugawa

Japan

Datos meteo

Shizuoka/Kikugawa

Situación

Latitud 34.74 °N
Longitud 138.13 °E
Altitud 159 m
Zona horaria UTC+9

Configuración del proyecto

Albedo 0.20

Meteonorm 8.0 - Sintético

Resumen del sistema

Sistema conectado a la red

Orientación campo FV

Planos fijos 2 orientaciones
Inclin./azimuts 30 / -90 °
30 / 90 °

Información del sistema

Conjunto FV

Núm. de módulos 480 unidades
Pnom total 194 kWp

Necesidades del usuario

Carga ilimitada (red)

Inversores

Núm. de unidades 4 unidades
Pnom total 160 kWca
Proporción Pnom 1.215

Alejandra de Dios Cámara

Características del conjunto FV

Conjunto #1 - Oeste

Orientación #1
Inclinación/Azimut 30/-90 °

Módulo FV

Fabricante Jinkosolar
Modelo JKM405M-72H-BDVP-Bifacial

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia 405 Wp
Número de módulos FV 240 unidades
Nominal (STC) 97.2 kWp
Módulos 12 Cadenas x 20 En series

En cond. de funcionam. (50°C)

Pmpp 88.7 kWp
U mpp 746 V
I mpp 119 A

Inversor

Fabricante Huawei technology
Modelo SUN2000-40KTL-M3-480V

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia 40.0 kWca
Número de inversores 2 unidades
Potencia total 80.0 kWca
Voltaje de funcionamiento 200-1000 V
Potencia máx. (=>40°C) 44.0 kWca
Proporción P_{nom} (CC:CA) 1.22

Conjunto #2 - Este

Orientación #2
Inclinación/Azimut 30/90 °

Módulo FV

Fabricante Jinkosolar
Modelo JKM405M-72H-BDVP-Bifacial

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia 405 Wp
Número de módulos FV 240 unidades
Nominal (STC) 97.2 kWp
Módulos 12 Cadenas x 20 En series

En cond. de funcionam. (50°C)

Pmpp 88.7 kWp
U mpp 746 V
I mpp 119 A

Inversor

Fabricante Huawei technology
Modelo SUN2000-40KTL-M3-480V

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia 40.0 kWca
Número de inversores 2 unidades
Potencia total 80.0 kWca
Voltaje de funcionamiento 200-1000 V
Potencia máx. (=>40°C) 44.0 kWca
Proporción P_{nom} (CC:CA) 1.22

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica

Temperatura módulo según irradiancia
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (viento) 0.0 W/m²K/m/s

Pérdidas de cableado CC

Res. conjunto global 104 mΩ
Res. de cableado global 52 mΩ
Frac. de pérdida 1.5 % en STC

Pérdida de calidad módulo

Frac. de pérdida -0.8 %

Pérdidas de desajuste de módulo

Frac. de pérdida 2.0 % en MPP

Pérdidas de desajuste de cadenas

Frac. de pérdida 0.1 %

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Recubrimiento Fresnel AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Alejandra de Dios Cámara

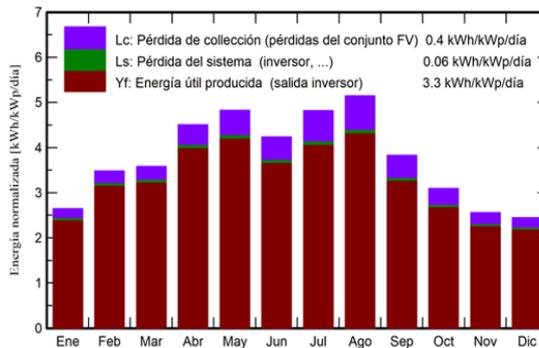
Resultados principales

Producción del sistema

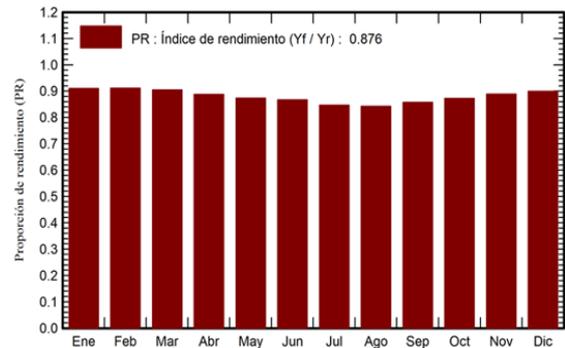
Energía producida 234.1 MWh/año

Producción específica 1204 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento (PR) 87.61 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



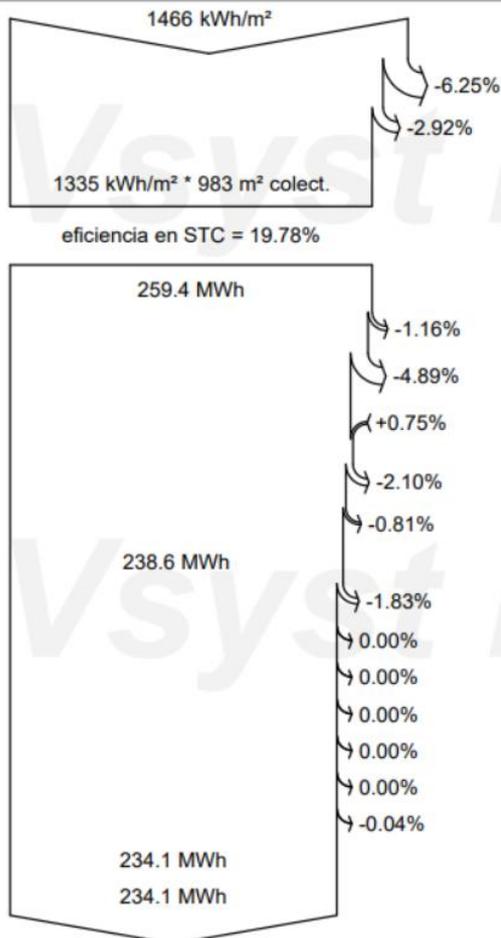
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	proporción
Enero	85.5	34.40	6.02	82.1	78.4	14.83	14.53	0.910
Febrero	102.7	42.60	6.97	97.4	94.1	17.60	17.27	0.912
Marzo	119.3	69.42	10.04	111.1	108.0	19.94	19.55	0.905
Abril	144.8	78.31	14.45	135.2	131.9	23.77	23.33	0.888
Mayo	160.6	88.40	18.70	149.6	146.1	25.87	25.40	0.873
Junio	137.1	86.93	21.59	127.0	123.9	21.83	21.43	0.867
Julio	161.1	86.70	26.07	149.4	146.0	25.05	24.59	0.847
Agosto	170.8	87.85	27.68	159.5	155.8	26.59	26.12	0.842
Septiembre	122.7	70.89	24.05	114.8	111.8	19.49	19.14	0.858
Octubre	101.5	56.80	19.33	95.8	92.7	16.57	16.26	0.873
Noviembre	81.2	37.12	13.69	76.8	73.8	13.53	13.26	0.888
Diciembre	78.8	28.53	8.58	75.8	72.1	13.52	13.25	0.899
Año	1466.3	767.95	16.49	1374.7	1334.6	238.60	234.14	0.876

Legendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_Grid	Energía inyectada en la red
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Proporción de rendimiento
GlobInc	Global incidente plano receptor		
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados		

Diagrama de pérdidas.

Alejandra de Dios Cámara



Irradiación horizontal global

Global incidente plano receptor

Factor IAM en global

Irradiancia efectiva en colectores

Conversión FV

Conjunto de energía nominal (con efic. STC)

Pérdida FV debido al nivel de irradiancia

Pérdida FV debido a la temperatura.

Pérdida calidad de módulo

Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas

Pérdida óhmica del cableado

Energía virtual del conjunto en MPP

Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)

Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal

Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima

Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal

Pérdida del inversor debido al umbral de potencia

Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

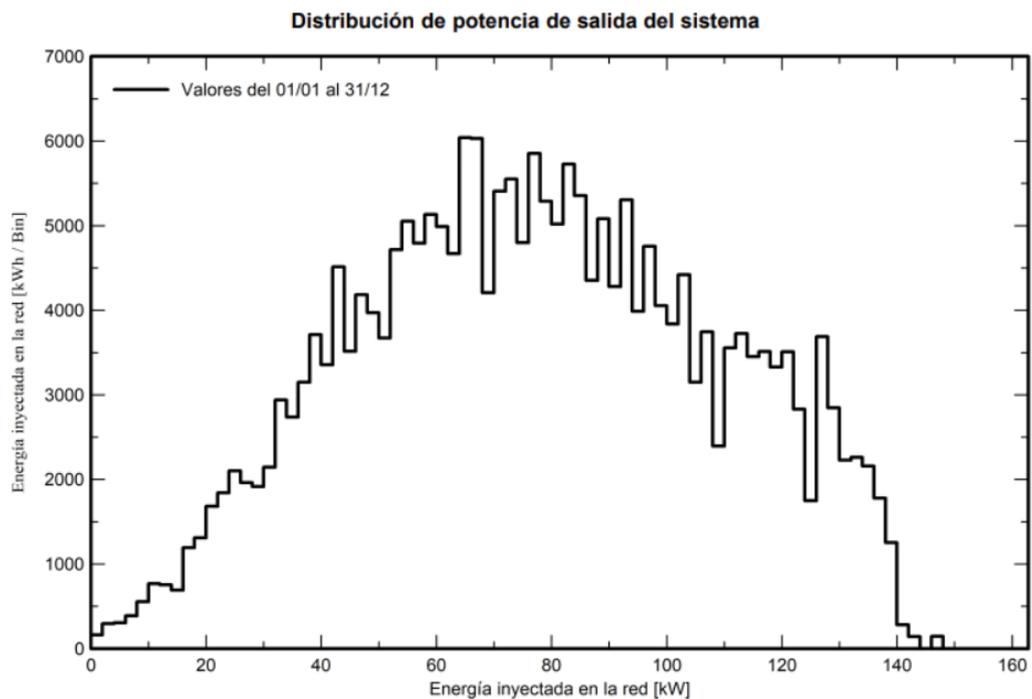
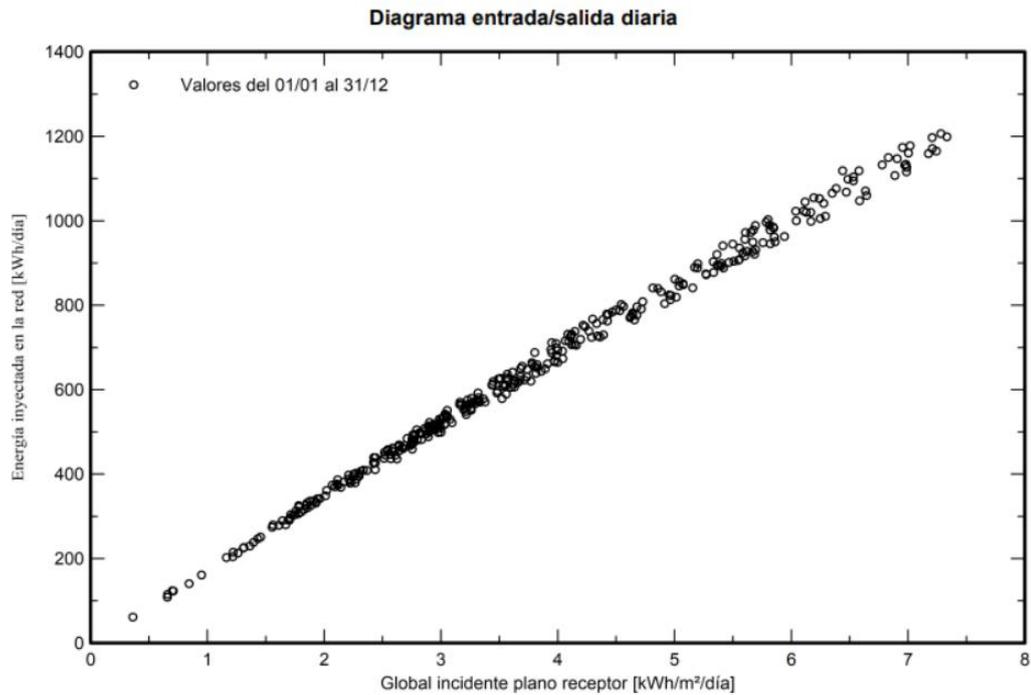
Consumo nocturno

Energía disponible en la salida del inversor

Energía inyectada en la red

Alejandra de Dios Cámara

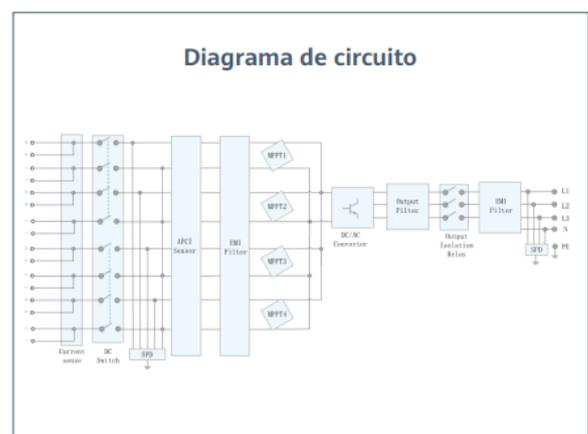
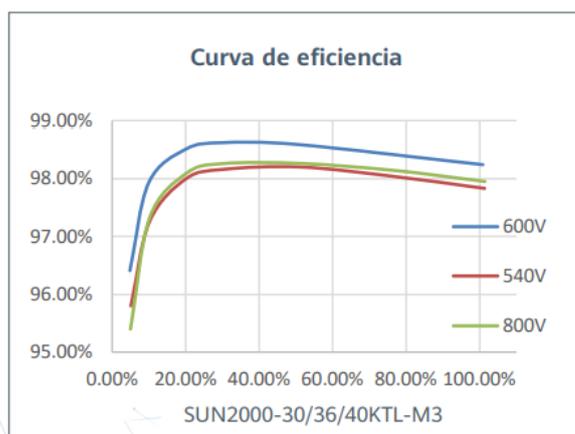
Gráficos especiales



ANEXO III - Ficha técnica inversor

SUN2000-30/36/40KTL-M3
Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3	SUN2000-40KTL-M3
Eficiencia			
Máxima eficiencia		98.7%	
Eficiencia europea ponderada		98.4%	
Entrada			
Tensión máxima de entrada ¹		1,100 V	
Intensidad de entrada máxima por MPPT		26 A	
Intensidad de cortocircuito máxima		40 A	
Tensión de arranque		200 V	
Rango de tensión de operación ²		200 V ~ 1000 V	
Tensión nominal de entrada		600 V	
Cantidad de entradas		8	
Cantidad de MPPTs		4	
Salida			
Potencia nominal activa de CA	30,000 W	36,000 W	40,000 W
Máx. potencia aparente de CA	33,000 VA	40,000 VA	44,000 VA
Tensión nominal de Salida		230 Vac / 400 Vac, 3W/N+PE	
Frecuencia nominal de red de CA		50 Hz / 60 Hz	
Intensidad nominal de salida	43.3 A	52.0 A	57.8 A
Máx. intensidad de salida	47.9 A	58.0 A	63.8 A
Factor de potencia ajustable		0.8 LG ... 0.8 LD	
Máx. distorsión armónica total		< 3%	



Alejandra de Dios Cámara

Características y protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí
Protección anti-isla	Sí
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí
Protección contra polaridad inversa CC	Sí
Monitorización a nivel de string	Sí
Descargador de sobretensiones de CC	Sí
Descargador de sobretensiones de CA	Sí
Detección de resistencia de aislamiento CC	Sí
Monitorización de corriente residual	Sí
Protección ante fallo por arco eléctrico	Sí
Control del receptor Ripple	Sí
Recuperación PID integrada3	Sí

Comunicación	
Display	Indicadores LED, WLAN Integrado + FusionSolar APP
RS485	Sí
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Opcional)
Monitoring BUS (MBUS)	Sí (transformador de aislamiento requerido)

Especificaciones generales	
Dimensiones (Ancho x Profundo x Alto)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)
Peso (Kit de herramientas para soporte de suelo incluido)	43 kg (94.8 lb)
Nivel de Ruido	< 46 dB
Rango de temperaturas en operación	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)
Ventilación	Convección natural
Max. Altitud de operación	0 - 4,000 m (13,123 ft.)
Humedad relativa	0% RH ~ 100% RH
Conector de CC	Staubli MC4
Conector de CA	Terminal PG impermeable + conector OT/DT
Grado de Protección	IP 66
Tipología	Sin transformador
Consumo de energía durante la noche	≤ 5.5W

Compatibilidad con optimizador	
Optimizador compatible con DC MBUS	SUN2000-450W-P

Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)	
Seguridad	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Estándares de conexión a red eléctrica	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3.RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, AS/NZS 4777.2, DEWA

1. El voltaje de entrada máximo es el límite superior del voltaje de CC. Cualquier voltaje DC de entrada más alto probablemente dañaría el Inversor.
 2. Cualquier voltaje de entrada de CC más allá del rango de voltaje de funcionamiento puede provocar un funcionamiento incorrecto del Inversor.
 3. SUN2000-30~40KTL-M3 aumenta por encima de cero la tensión entre la FV- y tierra a través de la función de recuperación PID, con el fin de recuperar la degradación del módulo debido al efecto PID. Compatible con módulos tipo-P (mono, poli), tipo-N (nPERT, HIT)
SOLAR.HUAWEI.COM/ES/

ANEXO IV – Ficha técnica placas fotovoltaicas

Cisne Bifacial 72H

385-405 vatios

MÓDULO MONOCRISTALINO

Tolerancia de potencia positiva de 0~+3%

ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018
fábrica certificada.

CEI61215(2016), CEI61730(2016)
productos certificados.

CARACTERÍSTICAS CLAVE



Célula solar de 5 barras colectoras

La celda solar de 5 barras colectoras adopta una nueva tecnología para mejorar la eficiencia de módulos ofrece una mejor apariencia estética, por lo que es perfecto para la azotea instalación.



Resistencia PID

Excelente rendimiento anti-PID que garantiza una degradación de potencia limitada para la masa producción.



Mayor rendimiento de energía de por vida

0,5 % de degradación de potencia anual
Garantía de potencia lineal de 30 años



Ahorro de costos de BOS

Diseñado para sistemas de alto voltaje de hasta 1500 VDC, ahorrando costos de BOS



Mayor potencia de salida

La potencia del módulo aumenta entre un 5 y un 25 % en general (por diferentes condiciones de reflexión) menor LCOE y mayor TIR



Mejor rendimiento con poca luz

Excelente rendimiento en entornos con poca luz (por ejemplo, temprano en la mañana, anochecer y nubes, etc.)

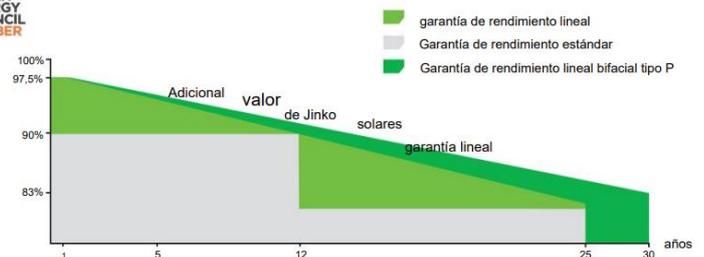


Soporte Mecánico Reforzado

Carga de nieve de 5400 Pa, carga de viento de 2400 Pa

GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

Garantía de producto de 12 años Garantía de potencia lineal de 30 años
0,5 % Degradación anual durante 30 años



Alejandra de Dios Cámara

SALIDA BIFACIAL-GANANCIA DE POTENCIA EN LA PARTE TRASERA						
5%	Potencia Máxima (Pmax)	404Wp	410Wp	415Wp	420Wp	425Wp
	Módulo Eficiencia STC (%)	19,75%	20,00%	20,26%	20,52%	20,77%
15%	Potencia Máxima (Pmax)	443Wp	449Wp	454Wp	460Wp	466Wp
	Módulo Eficiencia STC (%)	21,63%	21,91%	22,19%	22,47%	22,75%
25%	Potencia Máxima (Pmax)	481Wp	488Wp	494Wp	500Wp	506Wp
	Módulo Eficiencia STC (%)	23,51%	23,81%	24,12%	24,42%	24,73%

STC:  Irradiancia 1000W/m²  Temperatura de la celda 25°C  AM = 1.5

NOCT:  Irradiancia 800W/m²  Temperatura Ambiente 20°C  AM = 1.5  Velocidad del viento 1 m/s

* Tolerancia de medida de potencia: ± 3%