

Universidad Latina de Costa Rica

Sede Heredia

Facultad de Ingeniería y Tecnologías de Información

Escuela de Ingeniería Electromecánica

**“Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de
COCESNA en Costa Rica”**

**Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería Electromecánica**

Ing. Vittorio Andrés Vesco Ortega.

Heredia, Costa Rica

Enero, 2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado “Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de COCESNA en Costa Rica”, elaborado por el estudiante Vittorio Andrés Vesco Ortega, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina de Costa Rica, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:



Ing. Luis Andrés Brenes Oses, MGP

Tutor



Ing. Oscar Delgado Jiménez

Lector



Ing. Fred Castillo Moya

Representante de Rectoría

Heredia, 11 de Enero del 2019.

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: titulado “Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de COCESNA en Costa Rica”, elaborado por el estudiante Vittorio Andres Vesco Ortega para poder optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Luis Andrés Brenes Oses, MGP

Heredia, 11 de Enero del 2019.

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: titulado “Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de COCESNA en Costa Rica”, elaborado por el estudiante Vittorio Andres Vesco Ortega para poder optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Oscar Delgado Jiménez

Heredia, 18 de enero del 2019

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

Facultad de Ingeniería y Tecnología de Información

Universidad Latina de Costa Rica

Sede Heredia

Estimados señores:

Leí y corregí el Trabajo Final “Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de COCESNA en Costa Rica”, elaborado por Vittorio Andres Vesco Ortega, para optar por el título de Licenciado, en Ingeniería Electromecánica.

En la Corrección se tomaron aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero, que está listo para ser presentado como trabajo final de graduación, por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

De ustedes muy atentamente,


M.Sc. Zaida Solano Soto

Filóloga, carné número 304844



“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Vesco Ortega, Vittorio Andrés.

De la Carrera / Programa: Ingeniería Electromecánica

autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* Trabajo Final de Graduación
titulado:

Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de COCESNA en Costa Rica.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día *(Día, fecha)* viernes, 18 del mes enero del año 2019 a las 14:42 h . Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores. *Según orden de mención al inicio de ésta carta:*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su gran apoyo. A mi madre Carmen Ortega Rojas, y mi tía Ana Ortega Rojas que en paz descanse, ya que sin la guía de ellas yo no sería el mismo.

También quiero agradecer a la empresa OROSOL, por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por tomar el tiempo para guiar su elaboración.

Por último, quiero agradecer a los docentes de la Universidad Latina de Costa Rica en especial los ingenieros Luis Andrés Brenes, Armando Nevares, Carlos Campos y Edwin Figueroa, que sin el apoyo de ellos no hubiese logrado este trabajo.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los sistemas de generación eléctrica renovable, los fotovoltaicos son de las mejores opciones para ubicaciones urbanas o suburbanas. Para llegar a niveles de generación adecuados, los generadores eólicos requieren vientos con velocidades difíciles de encontrar a bajas alturas; los generadores hidroeléctricos y geotérmicos dependen de la cercanía y acceso a un recurso natural; los generadores de biomasa requieren que exista un proceso previo que tenga como subproducto un combustible utilizable. En cambio, los generadores fotovoltaicos pueden instalarse en cualquier lugar que recibe radiación solar.

En la primera parte de este trabajo, se investigarán los fundamentos teóricos de estos sistemas. Como por ejemplo, ¿qué es una celda solar y cómo esta produce energía a partir de la radiación mediante el efecto fotovoltaico? También los componentes de cada uno de estos sistemas, de los cuales, los más importantes son el panel solar, que es un conjunto de celdas solares, y el inversor, que toma la energía producida en forma de corriente directa por los paneles y la convierte a corriente alterna que puede utilizarse por la mayoría de los aparatos modernos. En esta misma parte, se presenta la normativa que regula estos sistemas.

La siguiente parte consiste en diseñar uno de estos sistemas en el nivel industrial. Primero, se presentan los estudios realizados sobre el consumo para determinar cuánta energía se desearía y cuanta sería posible generar. El proyecto se decidió montar sobre el techo del edificio donde está ubicado la Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea, la cual llamaremos de ahora en adelante COCESNA. Por lo tanto, se realizaron estudios de sus características físicas, como los espacios inadecuados para instalar los paneles, esto debido a sombras y otros factores; los ángulos de orientación e inclinación de canales de agua, los cuales afectan la luz solar que reciben. Utilizando estos datos, se realizaron varios diseños preliminares

hasta llegar a uno final, cuya capacidad de generación debió limitarse para obedecer la normativa.

En la parte final se visualiza un análisis económico para dos opciones del sistema, cada una con un diferente tipo de inversor. En este análisis se incluye la inversión inicial de cada opción y cuánto dinero se ahorraría gracias al sistema, además se facilita al lector los periodos de retorno de cada opción, es decir, cuánto tiempo luego de instalarse necesitarían para ahorrar tanto como se invirtió en ellos.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	vii
INTRODUCCIÓN	viii
INDICE GENERAL	x
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE ECUACIONES	xvi
1. PROBLEMA Y PROPÓSITO	2
1.1 Síntoma	2
1.2 Causas	2
1.3 Pronóstico	2
1.4 Control al pronóstico	2
1.5 Formulación del problema	2
1.6 Sistematización del problema	3
1.7 Objetivo general	3
1.8 Objetivos específicos	3
1.9 Estado actual de la investigación	4
1.10 Metodológica	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Marco situacional	6

	xi
2.2 Antecedentes históricos de la empresa	6
2.3 Misión de la empresa	7
2.4 Visión de la Empresa	7
2.5 Ubicación espacial	7
2.6 Organigrama	8
2.7 Marco conceptual	8
Principio de Funcionamiento.	8
Normativa aplicada	27
2.8 Hipótesis	28
2.9 Limitaciones	28
Limitaciones que afectan la elaboración del trabajo.	28
Limitaciones que afectan el diseño.	29
2.10 Alcances	30
3. DESARROLLO	32
3.1 Características y datos de la Empresa	32
3.2 Paneles Solares	33
3.3 Inversores	35
3.4 Huella de dióxido de carbono	37
3.5 Diagrama unifilar y Montaje	38
3.6 Inversión y Retorno	41

	xii
3.7 Garantía	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
GLOSARIO	48
ANEXOS	51
Anexo A – Antecedentes históricos de la empresa	51
Anexo B - Eficiencias de celdas solares de diferentes materiales/tecnologías, en condiciones de laboratorio, a través de los años.	52
Anexo C – Huella de Carbono al fabricar e instalar paneles solares.	54
Anexo D – Radiación solar en Costa Rica, tomado de Solargis.	57
Anexo E – Ficha técnica de los paneles solares	58
Anexo F – Ficha técnica de los Inversores	60
Anexo G – Ubicación de los módulos en el techo de la Empresa COCESNA CR.	63
Anexo H – Diagrama unifilar de la estructura de los paneles	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Sistema Energético Actual de la Empresa COCESNA.....	32
Tabla 2 - Datos del parque de paneles solares.....	34
Tabla 3 - Consumo eléctrico en función de la producción diaria.....	34
Tabla 4 - Características de los inversores	37
Tabla 5 - Emisión de toneladas de dióxido de carbono evitado	38
Tabla 6 - Inversión del Proyecto.....	41
Tabla 7 - Retorno de Inversión.....	42
Tabla 8 - Garantía de dispositivos	42
Tabla 9 - Experiencia de la Empresa OROSOL en instalación de Paneles Solares.	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ubicación Aérea de la Empresa OROSOL Energy.	7
Figura 2 - Organización de OROSOL Energy.	8
Figura 3 - Efecto de reducción de la tensión de una celda a causa de un aumento de temperatura.	9
Figura 4 - Diagrama de una unión PN y la formación de una zona de agotamiento en ella.	10
Figura 5 - Diagrama de un sistema de generación fotovoltaica interconectado.	11
Figura 6 - Crecimiento de producción fotovoltaica a través del tiempo en función del tipo de celda.	12
Figura 7 - Producción de los tres tipos de celda de película delgada más comunes en función del año de producción..	13
Figura 8 – Evolución de las eficiencias de celdas solares de diferentes materiales/tecnologías, en condiciones de laboratorio, a través de los años.	15
Figura 9 - Índice de reflectividad del silicio puro en función de la longitud de onda que incide sobre él.	16
Figura 10 - Reducción de reflectividad del silicio gracias a elementos anti-reflejantes.	17
Figura 11 - Efecto de texturizado de superficie sobre luz reflejada.	18
Figura 12 - Efecto de texturizado de superficie y reflector trasero sobre fotones que entran a la celda.	19
Figura 13 - Curvas de Corriente en función del Voltaje de dos paneles diferentes conectados en (a) serie y (b) paralelo.	22
Figura 14 - Diagrama unifilar de los dos inversores conectados a los paneles.	39
Figura 15 - Diagrama unifilar de puesta a tierra.	39

Figura 16 - Ubicación y montaje de los paneles solares.	40
Figura 17 - Eficiencias de celdas solares de diferentes materiales/tecnologías, en condiciones de laboratorio, a través de los años.	53

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	30
Ecuación 2 - Determinación de la inversión.....	41
Ecuación 3 - Generación necesaria para retorno de inversión.....	42
Ecuación 4 - Tiempo de Generación para retorno de inversión.	42

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1 Síntoma

Los recibos eléctricos son muy elevados.

A mayor escala, altos niveles de consumo equivalen a contaminación por fuentes de energía no-renovable.

1.2 Causas

COCESNA depende en un 100% de la red eléctrica para el suministro de la energía que consume para las áreas de interés.

1.3 Pronóstico

Más gastos y contaminación ambiental innecesarios.

1.4 Control al pronóstico

Se realizarán estudios del sitio para determinar la cantidad de energía que se desea generar, con base en su consumo actual, y cuánta sería posible generar, según el espacio disponible para instalar paneles y las limitaciones impuestas por la normativa. Al conocer estos valores, se elaborarán diseños de sistemas con distintas prioridades. De estos, se tomarán los diseños más factibles y se les analizará desde un punto de vista económico para determinar su rentabilidad.

1.5 Formulación del problema

En este caso, no hay un problema como tal, dado que la situación se mantendría estable si no se hiciera ningún cambio. Más bien, se mejorará un aspecto de ella, con tal de hacerla más favorable para el cliente.

COCESNA tiene un alto nivel de consumo eléctrico, lo cual lleva a costos elevados. El cliente ha cambiado sus hábitos de consumo para reducirlos gradualmente y está buscando

métodos adicionales para ayudar con el proceso. Como el cliente además está interesado en minimizar su huella ecológica, desea recurrir a fuentes renovables de energía.

1.6 Sistematización del problema

Si el cliente aceptara la propuesta de diseño que se le presente, se instalaría el sistema de generación fotovoltaica. Este consistiría principalmente en un arreglo de paneles solares, equipo para convertir su salida en Corriente Directa a Corriente Alterna, equipo de medición y una interconexión con la red de distribución eléctrica. La energía generada por este sistema reemplazaría una porción de que actualmente se le compra a la compañía distribuidora. Esto reduciría los costos de utilidad eléctrica y la dependencia a las fuentes de las que esta se deriva, las cuales incluyen fuentes no renovables.

1.7 Objetivo general

Elaborar una propuesta de diseño para un sistema de generación de energía fotovoltaica en el nivel residencial basada en las especificaciones de la licitación planteada por la empresa COCESNA, ubicada contiguo a la Escuela Aeropuerto, Edificio ATC-RADAR en la provincia de Alajuela.

1.8 Objetivos específicos

Investigar la capacidad de generación deseada del sistema de generación fotovoltaico según, consumo actual de la empresa.

Determinar la capacidad de generación del sistema de generación fotovoltaico, según regulaciones y lugar de construcción del proyecto.

Diseñar el sistema fotovoltaico en función de la viabilidad de su ejecución con el índice de rentabilidad y retorno de inversión.

1.9 Estado actual de la investigación

La empresa OROSOL cuenta con años de experiencia en el desarrollo de proyectos para generación fotovoltaica. Todo el trabajo será realizado por el estudiante, pero se contará con estos expertos como una fuente de conocimiento.

COCESNA cuenta con un sistema de calentamiento de agua solar y el cliente está interesado en ser más “verde,” pero no se ha realizado ningún avance en lo que refiere al desarrollo de un sistema como el que será diseñado.

1.10 Metodológica

Este será un trabajo teórico-práctico. Se investigarán tanto conceptos generales del tema mediante el estudio de documentos y otras fuentes de información, como datos específicos a este proyecto mediante estudios en el campo. Los conocimientos adquiridos a lo largo de estas investigaciones, se aplicarán para la elaboración de un producto final concreto.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco situacional

Este trabajo consistirá en la elaboración del diseño de un sistema de generación de energía fotovoltaica para licitar en la empresa COCESNA (en este caso, una industria, con alto consumo energético), junto con todos los procedimientos necesarios para llegar a este. Se trabajará con la empresa OROSOL, la cual se especializa en el desarrollo de esta clase de proyectos. Esta ayudará a guiar la realización del trabajo sin involucrarse en ella.

A lo largo del periodo, será necesario realizar trabajo de campo en la empresa para determinar datos relevantes. Para efectos de consumos, se trabajará con el cliente (departamento de mantenimiento de COCESNA), ya sea haciéndole consultas directas, o solicitando información de la compañía distribuidora a través de él.

Una vez que se tenga el diseño o, en caso de que se creen múltiples opciones, los diseños, se realizará un análisis económico de él/ellos. Este podría considerarse el paso más importante, ya que si el cliente decide desarrollar o no el proyecto en la realidad, dependería principalmente de su factibilidad económica.

2.2 Antecedentes históricos de la empresa

OROSOL Energy es una empresa fundada en febrero del 2002, con cedula jurídica 3-101-340358, de capital costarricense. Poseen licencia del MINAE para la importación y fabricación libre de impuestos de productos para uso energético bajo el # I 027-2014 amparados en la Ley 7447, Artículos 91 y 93.

OROSOL Energy es distribuidor para Latinoamérica de productos importados desde Asia, Europa y EE.UU. de las compañías más grandes y representativas del negocio en el nivel mundial en energía como GCL®, VIKRAM SOLAR®, GINLONG TECHNOLOGIES®,

ENPHASE® y HAINING JIXIANG SOLAR ENERGY, CO LTD®, las cuales poseen las certificaciones de CALIDAD ISO 9001-2000, CE, UL, TUV e IEC.

Para consultar algunos de los proyectos realizados en el nivel nacional, consultar Anexo A – Antecedentes históricos de la empresa.

2.3 Misión de la empresa

Ser reconocidos como una empresa seria y comprometida con el cliente; utilizando para ello estándares de calidad que permitan satisfacer las demandas del consumidor en lo referente a energías limpias.

2.4 Visión de la Empresa

Ofrecer al consumidor un excelente servicio, utilizando para ello materiales de calidad que acompañado de buena atención personal llene las expectativas del servicio (energías limpias).

2.5 Ubicación espacial

La planta se encuentra ubicada en San Joaquín de Flores, Heredia, Costa Rica.



Figura 1 – Ubicación Aérea de la Empresa OROSOL Energy.

Fuente: Google Earth 2007.

2.6 Organigrama

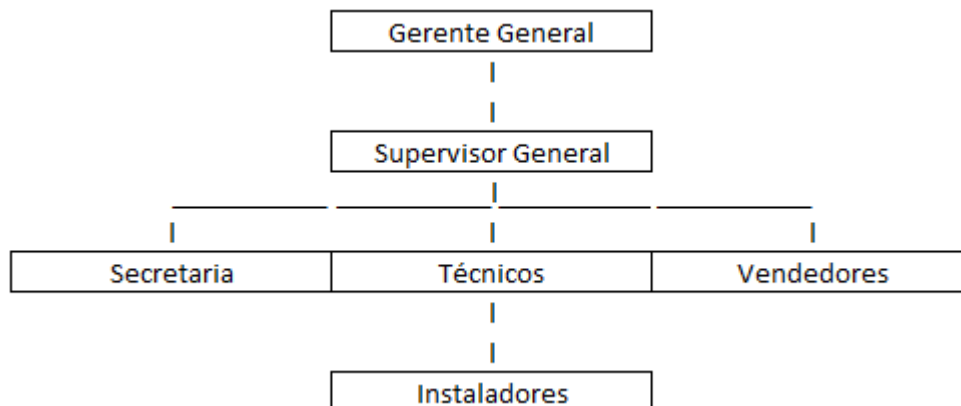


Figura 2 - Organización de OROSOL Energy.

Fuente: Compañía OROSOL Energy

2.7 Marco conceptual

Principio de Funcionamiento.

Efecto fotovoltaico.

La generación fotovoltaica se fundamenta en el efecto fotovoltaico, el cual consiste en la aparición de una diferencia de potencial en un material cuando este es expuesto a la luz. Esto se da gracias a la interacción entre los fotones que componen la luz y los electrones en el material. Cuando un fotón posee una cantidad de energía superior al valor de banda prohibida de un material, este puede ser absorbido por él. La energía del fotón es transferida a un electrón de valencia, lo cual lo excita a la banda de conducción, lo que le permite moverse más libremente dentro del material. Al removerse el electrón, se crea algo conocido como un hueco, el cual actúa como una partícula con carga positiva. Es la presencia de estos opuestos portadores de carga libres dentro del material, que generan la diferencia de tensión en él.

La eficiencia con la que se da el efecto fotovoltaico depende en gran parte de la relación entre el valor de banda prohibida de un material y la energía de los fotones que inciden sobre

él. Si un fotón posee menos energía que este valor, podría pasar a través del material, sin excitar un electrón. Si posee más, al excitar un electrón se liberaría el excedente de energía en forma de calor, lo cual no solo es un desperdicio, sino que puede llegar a reducir el voltaje en el semiconductor, como se ilustra en la Figura 3.

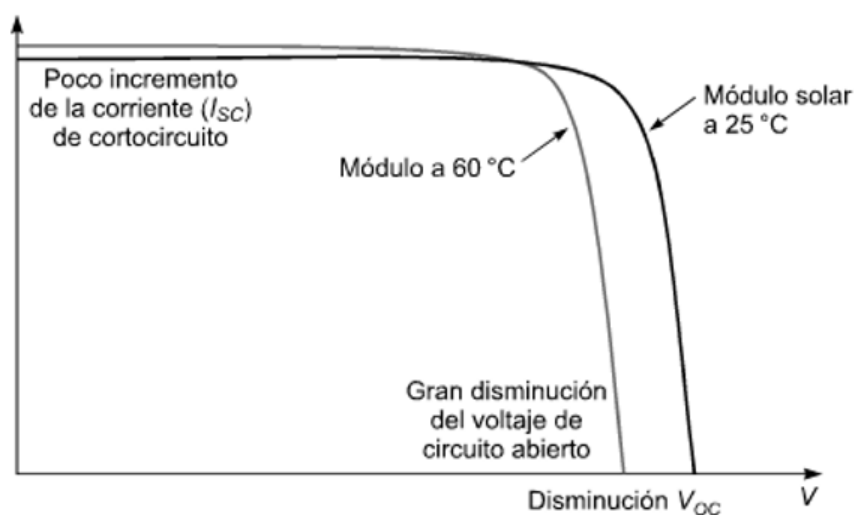


Figura 3 - Efecto de reducción de la tensión de una celda a causa de un aumento de temperatura.

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colemar Santos, & Castro Gil, 2009)

Unión PN.

Para facilitar la extracción la energía generada por el efecto fotovoltaico, las celdas fotovoltaicas por lo general, están compuestas de dos capas principales: una de semiconductor extrínseco tipo P y una de semiconductor extrínseco tipo N. Estos son semiconductores a los que se les han añadido, respectivamente impurezas de materiales con un electrón de valencia más, para que posean una abundancia de huecos, y con uno menos, para que posean una abundancia de electrones. Estos huecos y electrones libres se difunden entre los materiales y, alrededor de la frontera entre ellos, se combinan para formar lo que se conoce como una zona de agotamiento, como se ilustra en la figura 4. A medida que se combinan más pares huecos y

electrones, la carga en el lado N se va volviendo más positiva debido a la pérdida de electrones, y viceversa en el lado P, lo cual crea un campo eléctrico.

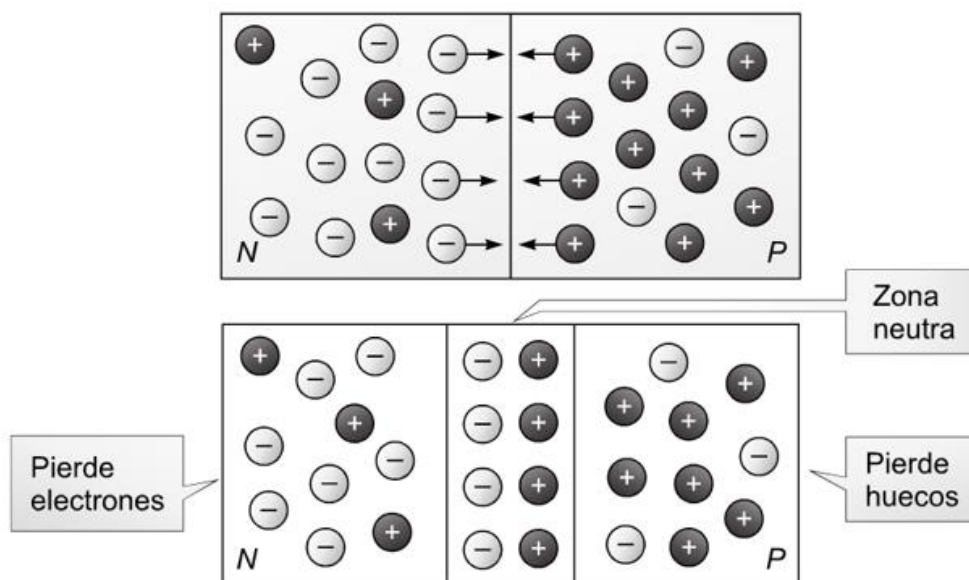


Figura 4 - Diagrama de una unión PN y la formación de una zona de agotamiento en ella.

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colemar Santos, & Castro Gil, 2009)

Cuando incide luz sobre el material, el efecto fotovoltaico causa que se separen los pares de huecos y electrones que se habían combinado. El campo eléctrico mueve los electrones liberados hacia el lado N y los huecos hacia el lado P. Si los lados P y N están conectados por un circuito externo, este mismo efecto fuerza a los portadores de carga a pasar por el circuito, para llegar al lado opuesto, lo cual genera una corriente.

Componentes del sistema.

En el ejemplo de un sistema ilustrado en la figura 5, se pueden observar varios de los componentes más importantes para un sistema interconectado a la red de distribución.

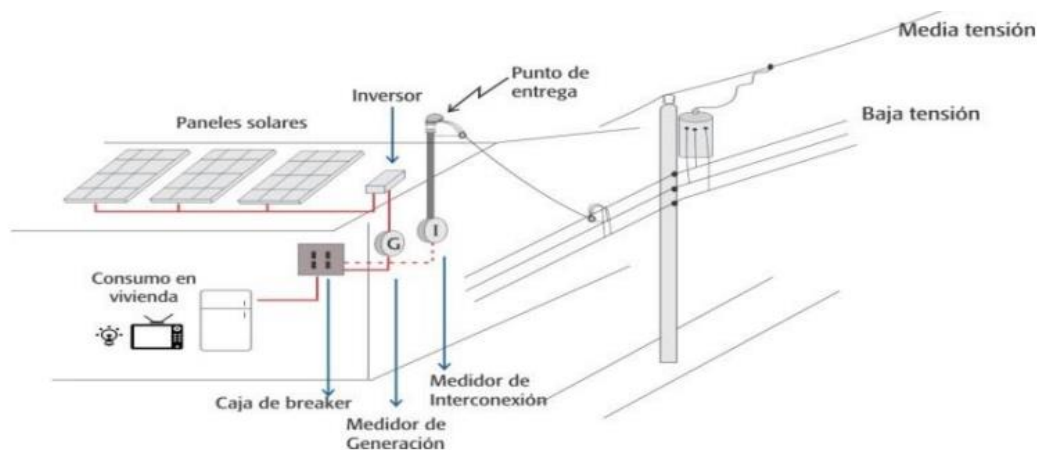


Figura 5 - Diagrama de un sistema de generación fotovoltaica interconectado.

Fuente: (Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.)

Celda solar.

El componente principal de todo sistema de generación de energía fotovoltaica es la celda solar o fotovoltaica. Como se explicó en la sección 2.7.1., una celda solar típica está estructurada en forma de una unión PN. Las celdas pueden clasificarse de acuerdo con sus materiales y estructuras.

Materiales y tecnologías.

Como se puede ver en la Figura 6, hay tres tipos de celda solar que dominan el mercado actual: silicio policristalino (en la gráfica aparece en color azul), silicio monocristalino (aparecen de color celeste) y película delgada (en color verde); siendo el módulo de silicio policristalino el más producido. En la leyenda de la figura 6, se describe diversos análisis de la producción de los módulos fotovoltaicos rondan en un rango entre 70 y 82 GWp para el año 2016, pero un acercamiento más realista, situa la cifra en los 75 GWp producidos.

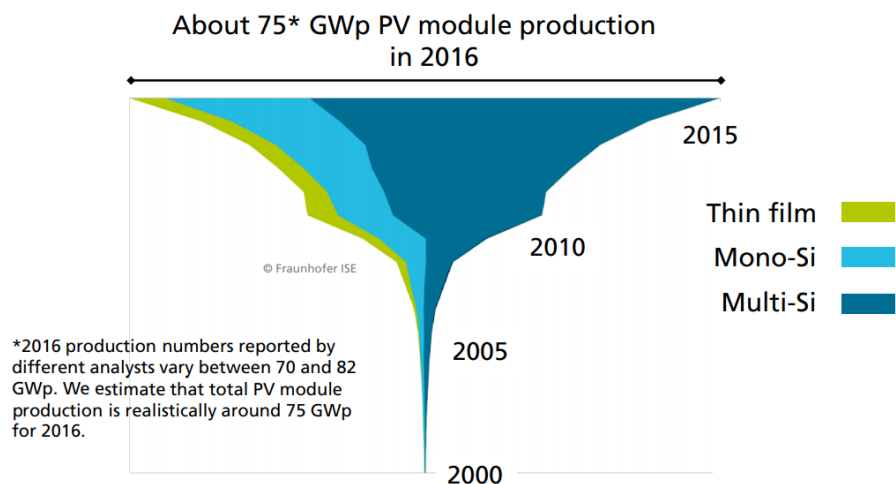


Figura 6 - Crecimiento de producción fotovoltaica a través del tiempo en función del tipo de celda.

Fuente: (Fraunhofer Institute for Solar Energy, 2018)

Silicio Cristalino.

La gran mayoría de las celdas solares producidas actualmente, están fabricadas de algún tipo de silicio cristalino. Estos por lo general, se fabrican cortando obleas de lingotes o bloques de silicio extrínseco tipo P, a las cuales, luego se les agrega una capa de silicio extrínseco tipo N mediante un proceso de difusión. Hay de dos tipos: silicio monocristalino y policristalino.

Las celdas de silicio monocristalino, como indica su nombre, están compuestas de un único cristal de silicio. Entre los tipos de celda comunes, estas son las más eficientes y costosas. Los lingotes de los que se cortan, por lo general se obtienen mediante el proceso Czochralski, el cual implica introducir un grano cristalino a un baño de silicio fundido y extraer lenta y cuidadosamente el cristal que se forma alrededor de él. Además, se desperdicia mucho material durante su fabricación, porque estos lingotes siempre son cilíndricos y las obleas se cortan en una forma que pueda acomodarse más eficientemente. Estos factores contribuyen a su alto costo.

El silicio policristalino, en cambio, está conformado por múltiples cristales. Esto reduce su eficiencia comparado al monocristalino, pero reduce significativamente su costo de fabricación ya que los bloques de los que se cortan las obleas no deben producirse tan meticulosamente. Gracias a su bajo costo, este tipo de celda es por un gran margen el más comúnmente producido y utilizado actualmente.

Película Delgada.

Las celdas de película delgada son aquellas producidas al depositar capas de un material sobre una base o sustrato. Debido a la amplia gama de materiales que se pueden utilizar en estas celdas, sus costos y eficiencias son muy variados. Por ejemplo, las celdas de silicio amorfo son más baratas, pero menos eficientes que las de silicio cristalino.

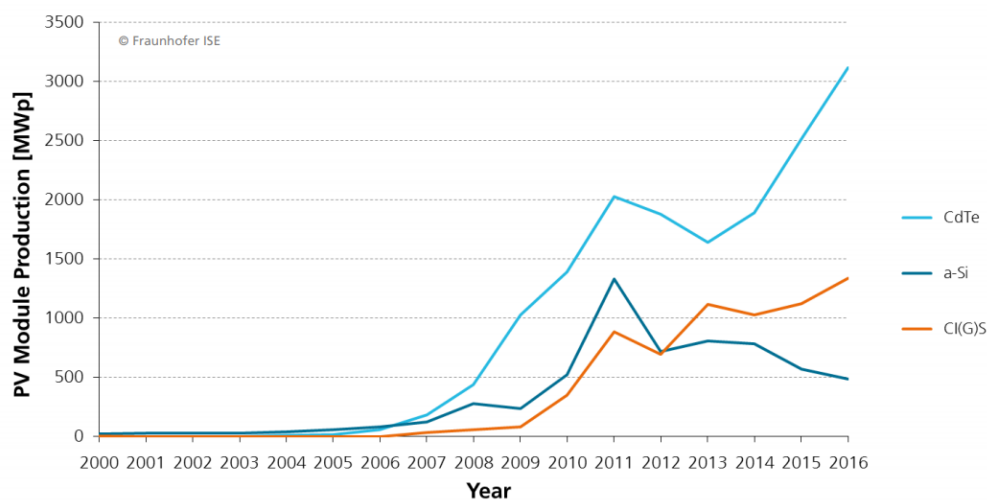


Figura 7 - Producción de los tres tipos de celda de película delgada más comunes en función del año de producción..

Fuente: (Fraunhofer Institute for Solar Energy, 2018)

Como se puede ver en la Figura 7, las celdas de telurio de cadmio (CdTe) son las más comunes entre las celdas de película delgada, seguidas por las de Cobre, Indio, Galio y Selenio

(CIGS). Esto se debe a que pueden alcanzar eficiencias comparables a las del silicio policristalino con costos menores.

El arseniuro de galio (GaAs) es un ejemplo de un material de alta eficiencia. En condiciones de laboratorio, ha logrado la mayor eficiencia entre todos los tipos de celda de unión sencilla. Similarmente, tienen un costo muy elevado, por lo que normalmente se utilizan en aplicaciones de alta tecnología, como vehículos espaciales.

Otras Tecnologías.

Existen celdas solares que utilizan tecnologías distintas a las mencionadas anteriormente, pero estas son muy poco comunes, ya sea por sus altos costos o por haber sido desarrolladas muy recientemente.

Las celdas multi-unión son, esencialmente, celdas de película delgada con múltiples capas de diferentes materiales. Cada material tiene un valor de banda prohibida, el cual determina la energía que debe poseer un fotón para lograr excitar uno de sus electrones. Al apilar diversos materiales en una celda, se amplía el rango de anchos de banda de los fotones que esta puede absorber.

Un sistema con concentración utiliza lentes y espejos para dirigir una gran cantidad de luz hacia un elemento fotovoltaico altamente eficiente. De esta manera, pueden producir con una sola celda las mismas cantidades de energía para las que normalmente se requerirían varias. Como se puede ver en la figura 8 (y en un mayor tamaño en el anexo B), las mayores eficiencias en generación fotovoltaica se han alcanzado al combinar celdas multi-unión con sistemas de concentración.

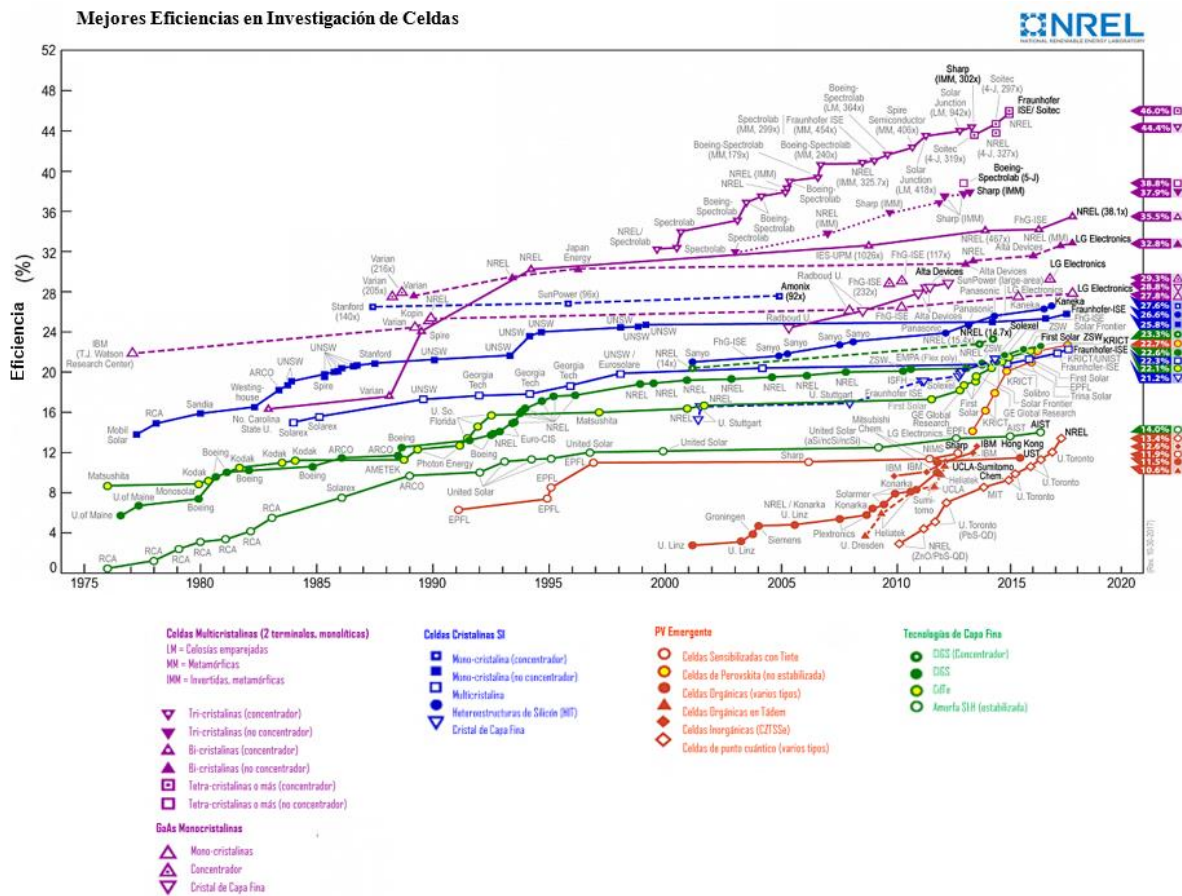


Figura 8 – Evolución de las eficiencias de celdas solares de diferentes materiales/tecnologías, en condiciones de laboratorio, a través de los años.

Fuente: (National Renewable Energy Laboratory, 2017)

Métodos para mejorar el desempeño de las celdas solares.

Sin importar el material de la celda, hay técnicas que se pueden utilizar para aumentar su absorción de fotones y, por lo tanto, su generación.

Recubrimiento antirreflejo.

Todo material tiene un grado de reflectividad que determina cuántos de los fotones que inciden sobre el, serán reflejados sin tener la oportunidad de ser absorbidos. Como se puede ver en la Figura 8, el silicio puro, del cual se fabrica la mayoría de las celdas solares, siempre refleja

por lo menos un 30% de los fotones y este valor aumenta con menores anchos de banda como se puede visualizar en la Figura 9.

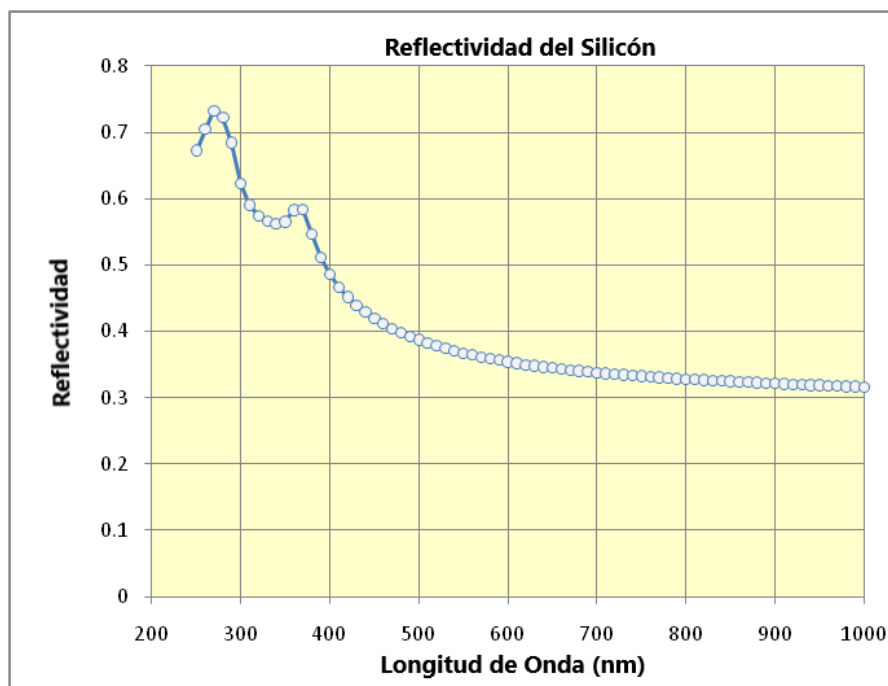


Figura 9 - Índice de reflectividad del silicio puro en función de la longitud de onda que incide sobre él.

Fuente: (Honsberg & Stewart, 2018)

Esta reflexión de los fotones sin que sea aprovechable puede reducirse significativamente, al aplicarle un recubrimiento anti-reflejo (por lo general nitruro de silicio), como se ilustra en la Figura 10.

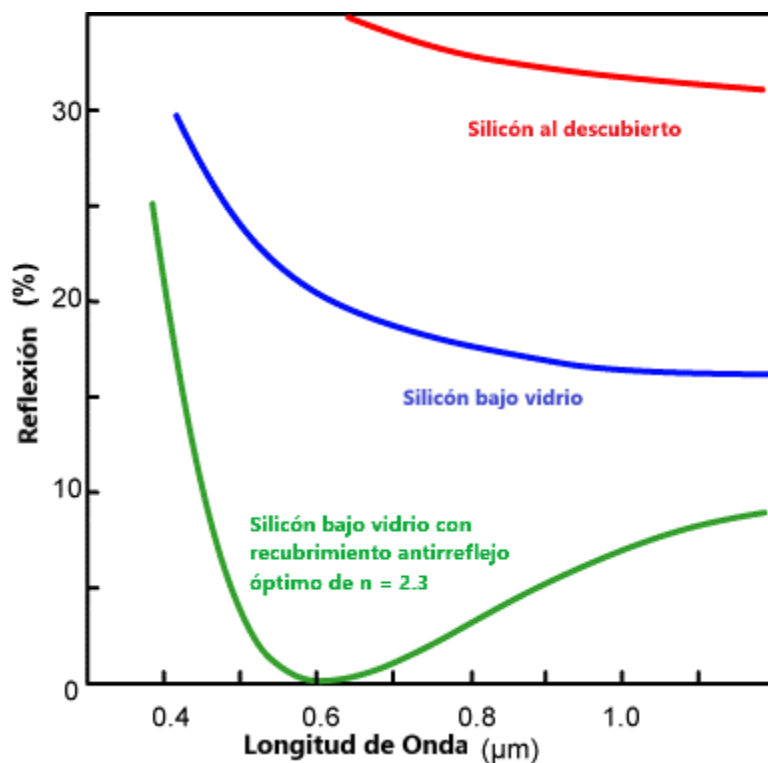


Figura 10 - Reducción de reflectividad del silicio gracias a elementos anti-reflejantes.

Fuente: (Honsberg & Stewart, 2018)

En esta Figura se puede visualizar el comportamiento del porcentaje de la reflexión del silicio descubierta en línea roja; el silicio bajo vidrio con una curva en color azul y el silicio bajo vidrio con una cubierta óptima antirreflejo con el color verde. Se logra visualizar, que el silicio con un recubierto de antirreflejo tiene un porcentaje de reflexión bajo y, por ende, una mayor absorción de los fotones.

Texturizado de Superficie.

Otra forma de reducir la cantidad de luz que se pierde al ser reflejada consiste en alterar la topografía de la superficie de la celda. Esto altera el ángulo de reflexión de los fotones, idealmente logrando que los que sí sean reflejados, lleguen a incidir en otra parte de la superficie, como se ilustra en la Figura 11.

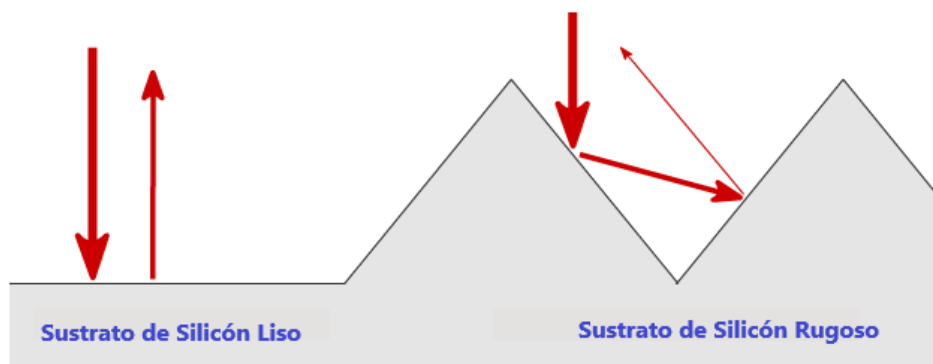


Figura 11 - Efecto de texturizado de superficie sobre luz reflejada.

Fuente: (Honsberg & Stewart, 2018)

En esta Figura 11, se visualizan dos tipos de texturizado de la superficie. En la superficie de silicón lisa, el rayo incidente ejemplificado con una línea roja y de mayor grosor se ve reflejado por la superficie, no sin antes liberar cierta cantidad de energía en la superficie.

En la superficie de silicón rugosa, el rayo incidente se refleja por la primera superficie, pero este rayo reflejado incide sobre otra parte de la superficie. Cada vez que el rayo incide sobre la superficie se da una transferencia energética, logrando así una mayor eficiencia en la generación.

Retención de Luz.

Es posible que fotones con suficiente energía para excitar un electrón pasen a través de una celda sin ser absorbidos. Por lo tanto, se debe hacer lo posible para mantener a los fotones dentro de ella el mayor tiempo posible para aumentar las posibilidades de que interactúen con un electrón. Estas técnicas se ilustran en la Figura 12.

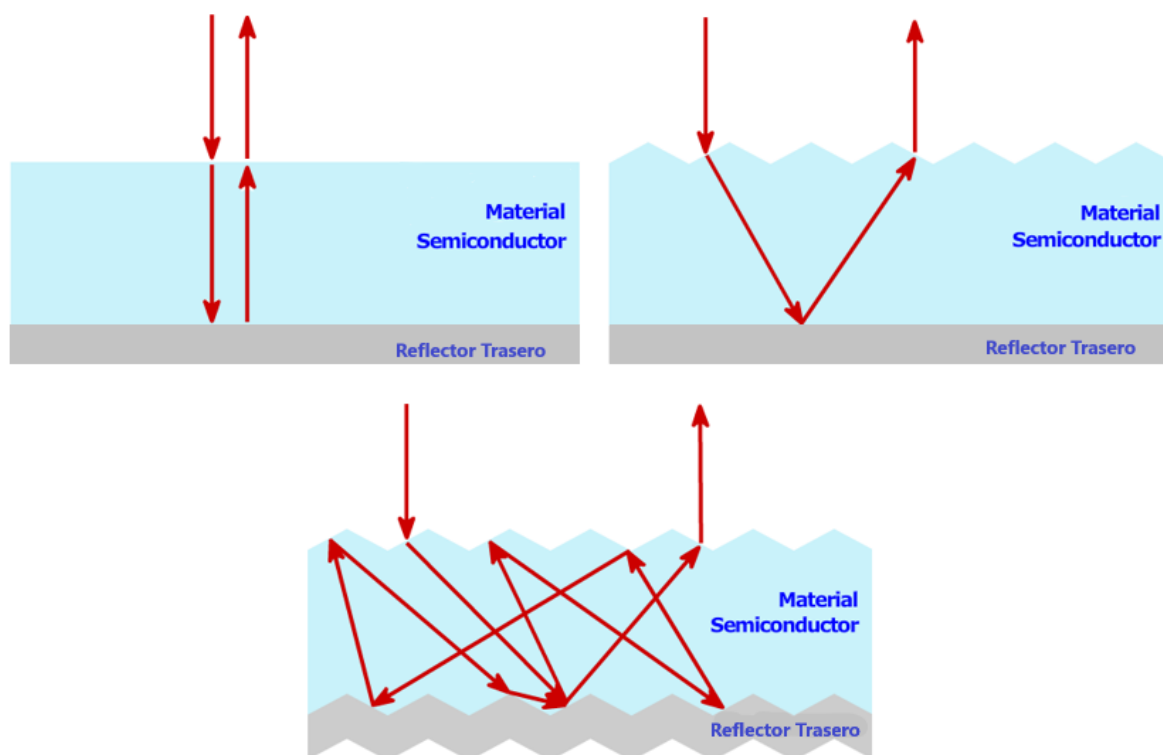


Figura 12 - Efecto de texturizado de superficie y reflector trasero sobre fotones que entran a la celda.

Fuente: (Honsberg & Stewart, 2018)

Primero, se le puede aplicar un reflector trasero, el cual obliga a los fotones a volver a atravesar el material. Al aplicarle un texturizado a la superficie de la celda, aparte de reducir la cantidad de fotones perdidos por reflexión, se altera el ángulo de refracción de la luz, haciendo a los fotones recorrer una mayor distancia dentro del material. Finalmente, al texturizar también el reflector, los fotones reflejados pueden no tener el ángulo apropiado para salir de la celda y rebotan múltiples veces dentro del material semiconductor, del cual está conformado.

Panel Solar.

Un conjunto de múltiples celdas solares se denomina un módulo. Al colocarse uno o más de estos módulos en una carcasa junto con ciertos otros elementos, se crea un panel solar. Estos elementos incluyen:

Marco.

La estructura básica que alberga los demás elementos del panel. Normalmente se fabrica de aluminio para reducir lo más posible el peso del panel, sin sacrificar demasiada resistencia estructural.

Superficie frontal.

Tiene el propósito de proteger las celdas solares sin obstruir el paso de la luz. Por lo tanto, debe estar hecha de un material con altas resistencias mecánicas y buena transmisión de fotones con anchos de banda apropiados para el material. Normalmente se usa vidrio templado, pero también es factible utilizar polímeros. Al igual que en las celdas solares, es posible texturizar la superficie para reducir la reflectividad, pero no al mismo nivel, ya que esto causaría la acumulación de suciedad sobre ella.

Caja de conexión.

El punto donde entran conductores desde el o los módulos dentro del panel y salen cables adecuados para conectarse a un arreglo.

Diodo de bloqueo.

Cuando una celda solar no recibe luz, intenta consumir potencia en lugar de generarla. Un diodo de bloqueo se coloca en serie con un módulo para prevenir el paso de corriente en dirección opuesta a la normal durante la noche, o cuando hay mucha sombra.

Diodo de paso.

Cuando solo parte de un módulo está sombreada, pero el resto está generando normalmente, se puede dar lo que se conoce como el efecto de punto caliente. En esta situación, el diodo de bloque no actúa, por lo que fluye corriente por el módulo. Al pasar esta corriente por la parte sombreada, esta disipa su potencia en forma de calor, el cual puede causar daños.

Para evitar esto, se coloca un diodo de paso en paralelo con el módulo, el cual permite que la corriente lo “salte” y siga a través del resto de la serie.

Inversor.

Los paneles solares suministran energía en forma de corriente directa, pero los dispositivos modernos por lo general, están diseñados para funcionar con corriente alterna. Por lo tanto, todo sistema de generación fotovoltaica necesita un elemento que le permita pasar de CD a CA. Este es el propósito de un inversor. En el caso de inversores solares para sistemas interconectados a la red de distribución, la salida en CA debe estar sincronizada a la frecuencia y tensión que se maneja en ella.

Debido a la generación variable de los paneles solares, los inversores cuentan con un sistema seguidor de punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés). Este es un convertidor CD-CD, que ajusta el voltaje de la salida de su o sus paneles conectados para maximizar su potencia. Los inversores a los que se esperaría conectar una alta cantidad de paneles pueden tener la capacidad de aplicar un MPPT distinto a múltiples partes del arreglo. Esto quiere decir, por ejemplo, si una mitad de los paneles produce a un diferente nivel que la otra, un inversor podría optimizar cada mitad del arreglo por separado.

Los inversores además tienen integradas medidas de seguridad, tales como desconectores y protección contra corriente de polaridad inversa. Para prevenir daños, están diseñados para desconectarse automáticamente en cuando se detecta una falla de la puesta a tierra o, en caso de los inversores interconectados a la red de distribución, cuando esta deja de suministrar energía.

Los inversores solares pueden dividirse en dos grandes categorías, basadas en cuántos paneles se conectan a ellos:

Inversores centrales y de cadena, a los que se conectan múltiples paneles.

Microinversores, a los que por lo general se conecta un solo panel, aunque también existen ciertos modelos diseñados para conectar dos o tres.

Inversores centrales y de cadena

La principal diferencia entre los inversores centrales y de cadena es el tamaño del sistema que se conecta a ellos. Se utilizan inversores centrales en sistemas con potencias por encima de 100kWp y de cadena por debajo. Los inversores centrales son nominalmente más eficientes (98.5%) y económicos (alrededor de 6 céntimos de euro por Wp), que los de cadena (98% y alrededor de 7-20 céntimos de euro por Wp, respectivamente) (Fraunhofer Institute for Solar Energy, 2018). Dado que la cantidad de inversores por sistema es pequeña, son fáciles pero costosos de remplazar en caso de que uno falle.

La principal desventaja de los inversores centrales como los de cadena, es que sufren de un efecto “cuello de botella” cuando se les conectan paneles con diferentes niveles de generación.

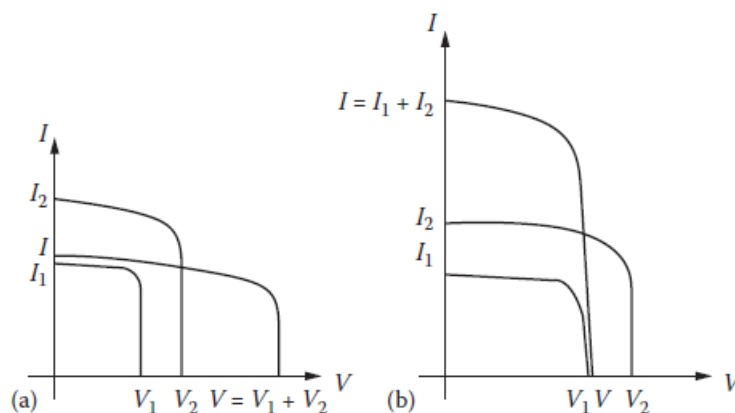


Figura 13 - Curvas de Corriente en función del Voltaje de dos paneles diferentes conectados en (a) serie y (b) paralelo.

Fuente: (Goswami, 2015)

Como se puede observar en la Figura 13, la corriente total de múltiples paneles diferentes conectados en serie está limitada por el panel de menor corriente de salida; y de igual manera, para el voltaje al conectarse en paralelo. Esto quiere decir, por ejemplo, que si un solo panel de entre cientos conectados a un inversor central deja de funcionar, podría traerse abajo todo el sistema. Además, se debe tomar en cuenta, que incluso paneles del mismo modelo en perfecto estado, pueden trabajar a distintos niveles debido a daños, diferentes condiciones de sombra o suciedad, variaciones de fábrica, etc. Por lo tanto, es normal que sistemas con estos tipos de inversores no logren funcionar a niveles óptimos.

Microinversores

Los microinversores son, como indica su nombre, inversores de tamaño y capacidad pequeños. Estos se instalan en cada panel de un arreglo (por lo general), tomando individualmente su salida en CD y convirtiéndola a CA. Los microinversores son nominalmente menos eficientes (90%-95%) y económicos (alrededor de 33 céntimos de euro por Wp) que los centrales o de cadena. Sin embargo, dado que cada uno se conecta a un solo panel, la salida de cada panel es optimizada y se evita el efecto “cuello de botella” que se da en otros tipos de inversor. Gracias a esto, los microinversores pueden fácilmente lograr eficiencias efectivas mayores. A la inversa de los inversores centrales y de cadena, reemplazar o darle mantenimiento a un microinversor es barato pero inconveniente. Por ejemplo, en un sistema montado sobre un techo, es necesario remover el panel al que está conectado el microinversor dañado para poder manipularlo y, si el panel en cuestión se encuentra rodeado por más paneles, estos también tendrían que moverse para evitar causarles daños al caminar sobre ellos.

Optimizador de carga.

Para contrarrestar el problema de “cuello de botella” de los inversores centrales y de cadena, algunos sistemas utilizan convertidores CD-CD conocidos como optimizadores de carga. En esencia, esto aplica un sistema MPPT a cada panel. Al igual que los microinversores, se instala un optimizador de carga por cada panel. Este altera el nivel de tensión de la salida del panel para convertir su nivel de corriente a un valor determinado, el cual es igual para todos los paneles en el arreglo. Esto logra, en teoría, optimizar la salida de todos los paneles de un sistema de la misma manera que los microinversores, a un costo reducido.

Equipo de monitoreo.

Los sistemas de generación fotovoltaica modernos por lo general, cuentan con sistemas que les permiten monitorear datos como los niveles de generación de manera precisa. Los inversores centrales y de cadena por lo general, tienen estos sistemas ya integrados, aunque tienen la desventaja de que únicamente pueden monitorear el sistema en su totalidad. Los microinversores normalmente, requieren la compra de un aparato especializado, lo cual aumenta la inversión, pero puede proporcionar información sobre cada panel individualmente.

Sistema de montaje.

El sistema de montaje de un panel depende de donde este se vaya a instalar. Por ejemplo, en techos, normalmente se fijan rieles a los clavadores o vigas y los paneles se montan sobre estos. Si no pueden colocarse directamente sobre una superficie, como en el caso de un piso de tierra desigual, pueden colocarse sobre postes. En todo caso, el sistema de montaje puede utilizarse para alterar la inclinación de los paneles, para que estos reciban la mayor cantidad de radiación solar posible.

Cableado.

Dado que prácticamente siempre se van a encontrar a la intemperie, los cables utilizados en sistemas de generación fotovoltaica deben ser altamente resistentes a ciertas condiciones, (Radiación ultra violeta, amplios rangos de temperatura, Humedad, entre otros)

Seguidor Solar.

Los seguidores solares podrían considerarse sistemas de montaje especializados. Estos son sistemas que mueven un panel para maximizar la cantidad de radiación solar que puede recibir en un día. Pueden moverse a lo largo de uno o más ejes mediante distintos mecanismos. Se pueden encontrar diferentes tipos en el mercado.

Seguidores activos.

Cuentan con sensores que detectan la posición del sol y motores que mueven los paneles para que su superficie esté tan perpendicular a él, como sea posible.

Seguidores pasivos.

Contienen fluidos que mueven los paneles al cambiar de estado a diferentes temperaturas. Por ejemplo, podrían diseñarse para llegar a estar horizontales cuando el fluido alcanza su máxima temperatura, ya que las temperaturas más altas de un día se dan a mediodía, cuando el sol está más alto en el cielo.

Seguidores manuales.

Dependen de un operador que los mueve regularmente a lo largo del día.

Batería.

Hay sistemas en los que se desea o necesita almacenar electricidad producida por el arreglo fotovoltaico para ser utilizada más tarde, ya sea porque se quiere evitar entregársela a la red, o porque no están conectados del todo a ella. En estos casos, es necesario instalar baterías.

Los dos tipos más comunes son las de plomo-ácido, que son la opción más económica y dominan el mercado, y las de níquel-cadmio, que tienen mejor desempeño, pero un precio mucho mayor.

Obviamente, las baterías solares deben ser recargables, también conocidas como celdas secundarias. Aparte de esto, deben poseer ciertas otras características:

Vida útil.

La vida útil de los paneles solares es sumamente extensa. Aunque no lleguen a igualarla, los demás componentes de un sistema, también deberían tener vidas útiles largas para no tener que reemplazarse muchas veces. Las baterías solares se cargan y descargan constantemente, por lo que deben ser resistentes a la degradación que esto causa.

Profundidad de descarga.

En sistemas donde la generación fotovoltaica es la única fuente de energía, debe poder aprovecharse al máximo esta energía, incluso, cuando no están generando. Por lo tanto, las baterías solares deben poder descargarse a niveles particularmente bajos sin dañarse.

Robustez.

No siempre es posible almacenar baterías en un lugar protegido, por lo que debe haber modelos disponibles que puedan instalarse a la intemperie.

Regulador de carga.

En sistemas con baterías, o en aquellos en los que se utiliza la energía generada por el sistema sin convertirla a CA, es necesario instalar un regulador. Este limita la cantidad de corriente que pasa a la batería, o el equipo para protegerlos contra sobrecargas que podrían dañarlos. En sistemas con baterías, este también se encarga de monitorear el nivel de carga de estas y desconectarlas cuando sufran de una sobre-descarga.

Medidor.

En casos donde el sistema esta interconectado con la red de distribución, es necesario instalar dos medidores eléctricos.

Medidor de generación.

Es un medidor sencillo que registra, cuánta energía sale del sistema de generación.

Medidor de interconexión.

Es un medidor bidireccional, toma el lugar de un medidor normal y registra cuánta energía está extrayendo de la red de distribución un local, y al mismo tiempo registra, cuánta le está inyectando el sistema de generación a la red.

Normativa aplicada

El Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables, referido de ahora en adelante como el RGDA, establece una serie de normas

Las partes del reglamento más relevantes al trabajo que se realizará se encuentran en el Capítulo IV: Disposiciones generales para el sistema de generación distribuida para autoconsumo. Entre estas, el Artículo 34 es de particular interés, el cual indica:

Autorización para almacenamiento y retiro de energía. El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual.

La energía total producida y la energía no consumida serán contabilizadas de forma mensual por un período de un año dentro del proceso de facturación, siendo su fecha anual de corte un acuerdo de las partes dentro del contrato de interconexión. (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015)

Es decir, si un sistema está produciendo más energía de la que se está consumiendo en un momento dado, el excedente se inyecta a la red de distribución. La cantidad de energía que entra a la red queda registrada en el medidor de generación. Cuando llega el momento de facturar el consumo mensual, la cantidad de kWh inyectada se le resta a la cantidad consumida. El monto de la factura, entonces, consistiría en la tarifa normal aplicada a cualquier excedente de consumo, más la tarifa de acceso aplicada a la energía que fue inyectada y luego extraída del sistema.

2.8 Hipótesis

La generación eléctrica producida por los paneles solares para instalar supla lo que la misma empresa consume.

2.9 Limitaciones

Las limitaciones de este trabajo se pueden dividir en dos categorías generales: aquellas que afectan la elaboración del trabajo y aquellas que afectan el diseño.

Limitaciones que afectan la elaboración del trabajo.

Acceso a la información.

En muchos casos, es difícil acceder a la información relevante para este proyecto. Los documentos que sí están más a la vista, a veces están escritos en una forma que es difícil de entender para personas que no tienen experiencia previa en el área. Por lo tanto, muchas veces es necesario consultar a expertos. Para temas relacionados con organizaciones gubernamentales, normalmente las únicas personas con conocimiento extenso son las de la misma organización. No existe ningún método sencillo para hallar a la persona indicada y, una vez que esto se logra, el proceso de obtener la información que se busca puede complicarse, debido a sus horarios y obligaciones.

Además de este aspecto, está el tema particular de las especificaciones del local. Hay datos que si el dueño no los tiene a la mano, solo se podrían adquirir mediante estudios que simplemente no sería factible realizar como parte del proyecto.

Tiempo.

La principal limitante en prácticamente todo proyecto es la falta de tiempo. Esto va mano en mano con la limitación anterior, ya que se pueden dar casos donde se llega a un punto del que no se puede avanzar sin adquirir ciertos datos, lo cual puede tardar mucho tiempo.

Limitaciones que afectan el diseño.

Características del local.

Los paneles solares se instalarían en el techo, el cual posee una estructura que podría complicar el proceso de diseño. Este está construido en múltiples niveles, y las secciones más elevadas proyectan sombras sobre partes de las secciones inferiores, lo cual las hace no aptas para colocar paneles.

Normativa

Una de las principales limitaciones está impuesta por el Artículo 34 del RGDA que fue discutido en la sección 2.7. Esta viene del hecho que limita la cantidad de energía que la compañía distribuidora está obligada a devolver. Por ejemplo, asúmase que se tiene un local en el que se ha instalado un sistema fotovoltaico que produce 5 kWh anualmente. El consumo anual de este local también es de 5 kWh, pero está dividido en la siguiente forma:

2 kWh durante los periodos en los que el sistema estaba generando.

3 kWh durante los periodos en los que el sistema estaba inactivo.

Con estos datos, se puede calcular la cantidad de energía inyectada, que la compañía distribuidora devolvería:

Ecuación 1

$$E = 2 \text{ kWh} * \frac{49 \%}{51 \%} = 1,92 \text{ kWh}$$

Es decir, el cliente le estaría donando los 1,08 kWh restantes y tendría que pagar la tarifa normal por ellos.

Dado que un sistema fotovoltaico solamente puede generar energía durante el día, esta limitación se agrava entre más consumo hay durante la noche. Para este caso, se sabe que en el local regularmente se utiliza aire acondicionado en la noche, por lo que es probable que esta limitación afecte el diseño.

2.10 Alcances

En teoría, el sistema podría llegar a ser capaz de eliminar por completo los gastos del cliente debidos a su consumo eléctrico. Desde un punto de vista más realista, se debe tomar en cuenta, que las limitaciones explicadas en la sección 2.9 podrían limitar la capacidad del sistema. Además, el desempeño del sistema depende en gran parte de las condiciones climáticas. Si estas fueran menos favorables que las asumidas para el diseño, esto reduciría su generación. Sin embargo, se esperaría que el sistema pueda generar un ahorro significativo.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO

3.1 Características y datos de la Empresa

Al estudiar las especificaciones que definen las características y requisitos eléctricos para un sistema de paneles solares para conectarse con el sistema eléctrico del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), basado en el proyecto de esta institución que se denomina Generación Distribuida. Se visualiza que estos sistemas se conectan a la red eléctrica nacional de forma directa. De esta manera el consumidor de electricidad no tendría que utilizar esa energía, sino que mantendría su consumo de la red, el distribuidor eléctrico instalaría un medidor bidireccional (en 2 direcciones), para medir tanto el consumo, como lo producido y al final de un periodo, se cancelaría la diferencia de las 2 mediciones.

Investigando las características del Edificio Regional de COCESNA Costa Rica, presenta este las siguientes características de ubicación y consumo eléctrico:

Dirección: Contiguo Escuela Aeropuerto, COCESNA -Edificio ATC-RADAR., Alajuela. Latitud: 10° 00' 04", Longitud: -84° 12' 05".

Tabla 1 - Sistema Energético Actual de la Empresa COCESNA

MES	Consumo Energía (kWh)	Demanda	Energía	Total
Julio	6.895,00	€248.881	€546.084	€794.965
Agosto	7.629,00	€259.234	€604.217	€863.451
Septiembre	7.221,00	€286.211	€571.903	€858.114
Octubre	7.180,00	€229.581	€568.656	€798.237
Noviembre	7.140,00	€218.160	€565.488	€783.648
Diciembre	6.936,00	€212.218	€549.331	€761.549
Enero	7.303,00	€287.476	€578.397	€865.873
Febrero	7.670,00	€264.560	€607.464	€872.024
Marzo	7.384,00	€292.206	€584.813	€877.018
Abril	8.486,00	€304.903	€672.091	€976.994
Mayo	6.732,00	€250.821	€533.174	€783.995
Junio	5.059,00	€252.705	€400.673	€653.378

TOTAL ANUAL	85.635,00	€9.889.25
TOTAL PROMEDIO MENSUAL	7136,25	
TOTAL PROMEDIO DIARIO	234,62	

Fuente: Elaboración propia de las facturas.

3.2 Paneles Solares

Los paneles solares de la marca YIngli Green Energy Holding Company Limited, conocida como Yingli Solar, tienen las siguientes características:

El panel fotovoltaico estará formado por módulos fotovoltaicos de silicio policristalino de la marca YINGLI SOLAR, modelo YL260P-29b, de potencia 260 watts, cuya eficiencia de los paneles es mayor a 16%.

Garantía de fábrica por defectos de fabricación y manufactura por al menos 10 años.

Los paneles fotovoltaicos tienen un coeficiente igual o menor a 0.4% / °C de disminución de Potencia por aumento de temperatura.

Se garantiza una potencia del panel mínima del 91.2% del valor nominal a los diez años y el 80.7% del valor nominal a los 25 años.

Todos los módulos fotovoltaicos estarán montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos. Esta se instalará con orientación hacia el Sur. La estructura no proyectará sombras sobre los paneles en ninguna posición de ajuste.

Las estructuras de soporte de los paneles resistirán golpes y vientos de 2.4 kPa (0,02447 kg_(f)/cm²).

La altura del techo al panel no será mayor a 0,5 metros en su lado más alto de instalación y deberá quedar a una altura mínima tal, que garantice el adecuado enfriamiento o ventilación del mismo, sin que afecte la eficiencia del panel.

La separación entre filas o “Strings” será tal, que permita el acceso a los paneles para su mantenimiento y que la separación que se dé no produzca sombra entre los paneles. Esta separación será determinada de acuerdo con la latitud en la que se instalará el sistema.

La información técnica de los paneles debe referirse a condiciones estándar STC a saber, una radiación de 1000 W/m^2 y Temperatura en la Celda de 25°C (STC) y Masa de Aire $AM=1.5$. El Voltaje máximo de conexión no será superior de 600 VDC.

Según datos tomados de SOLARGis, mostrado en el Anexo D, podemos determinar que la radiación mínima diaria en la zona del aeropuerto es de 4,79 KWh/KWp y la radiación en promedio anual es de 1604 KWh/KWp.

Tabla 2 - Datos del parque de paneles solares

Datos Tomados de SOLARGIS	
Radiación diaria mínima anual (kWh/kWp)	4,79
Modelo	Yingli Green Energy Panda YGE 60 CELL Serie 2
Tecnología del Módulo	Policristalino silicón
Tipo de Modulo	Carbono Silicio en celdas de 40x40 mm
Tamaño de módulos solares (W)	260
Potencia Total Requerido (W)	50162,38
Rendimiento de Planta	0,759
Cantidad de Paneles	204
Tensión por módulo (V)	30.3
Potencia generada paneles (kWp)	53,04

Fuente: Elaboración propia.

Con un parque de doscientos cuatro paneles solares, y una aproximación de la generación de estos, teniendo en cuenta la radiación y la ubicación, se modela la siguiente tabla de datos:

Tabla 3 - Consumo eléctrico en función de la producción diaria

MES	Consumo Energía (kWh)	Producción Eléctrica Fotovoltaica según radiación SOLARGIS (kWh)	EMS SOLARGIS (kWh/kWp)
Julio	6.895,00	6.205,68	90,00%

Agosto	7.629,00	6.417,84	84,12%	121
Septiembre	7.221,00	6.523,92	90,35%	123
Octubre	7.180,00	6.417,84	89,38%	121
Noviembre	7.140,00	6.258,72	87,66%	118
Diciembre	6.936,00	7.425,60	107,06%	140
Enero	7.303,00	8.539,44	116,93%	161
Febrero	7.670,00	8.115,12	105,80%	153
Marzo	7.384,00	9.016,80	122,11%	170
Abril	8.486,00	7.478,64	88,13%	141
Mayo	6.732,00	6.630,00	98,48%	125
Junio	5.059,00	6.046,56	119,52%	114
ANUAL	85.635,00	85.076,16	99,35%	1604

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis anual, comparado con el consumo se visualiza que existirán meses donde se generará mayor energía de la consumida, pero en términos anuales, la energía generada por los paneles solares será un 99.35% de la consumida por la empresa.

3.3 Inversores

El inversor marca Solís de Ginlong Technologies de 5KW con MPPT, convertirá a corriente alterna (AC), la corriente continua (CC) generada por el Generador Fotovoltaico, para que esta energía se convierta adecuadamente a las especificaciones de la red de distribución eléctrica de la edificación.

Extrayendo la información presente en el anexo F, indica que:

Los inversores marca Solís de Ginlong Technologies son diseñados con las normas UL1741 e IEEE1547 que corresponden a seguridad de la salud ocupacional de los técnicos que reparan las redes eléctricas del Sistema Eléctrico Nacional. Los inversores Solís solo pueden funcionar cuando haya energía en Corriente Directa y Corriente Alterna al mismo tiempo. Se desconectan si algunos de las 2 corrientes no estén trabajando. (Ficha Técnica de los inversores)

Este dispositivo cumple con los siguientes requisitos:

Con las normativas eléctricas nacionales establecidas.

Compacto (dimensiones 339mm ancho x 565mm largo x 173mm alto), de fácil montaje y de poco mantenimiento.

Posee protección ante exposición de condiciones ambientales exteriores como sol, altas temperaturas, agua, polvo, etc., para montaje interior o exterior (NEMA 3R). Es IP-65 con temperaturas de funcionamiento de -25°C - 60°C .

Posee protección contra polarización inversa por medio de diodos.

Posee protección contra sobre tensiones.

Posee protección contra falla a tierra (UL 1741).

Genera eficientemente una forma de onda sinusoidal pura.

Tiene impedancia del control de contacto a tierra mayor de $1\text{M}\Omega$.

Posee una protección contra operación aislada, ofreciendo una conexión y desconexión automática ante la ausencia de red para evitar el funcionamiento o marcha aislada del sistema (UL 1741, IEEE 1547).

Posee puertos de conexión que permitirán la comunicación de datos a los sistemas de control, tales como RS485, Wireless, etc.

Posee una pantalla indicadora de los estados de operación del equipo para simplificar la programación de funciones.

Posee un algoritmo de seguimiento de punto de máxima potencia, asegurando la máxima producción bajo cualquier condición de radiación solar.

El inversor tiene una eficiencia de conversión promedio del 97% o mayor.

El controlador posee una detección automática de tensión de corriente alterna.

Los inversores estarán acomodados con cierta cantidad de paneles, va a depender de la potencia de cada inversor, de esta manera, no se sobrecargarán unos más que otros.

La configuración MPPT de los inversores determina, que siempre busquen el balance entre voltaje y corriente en el que los paneles solares operan a su máxima potencia.

Tabla 4 - Características de los inversores

Inversores		
Arreglo de Paneles	11	
Cantidad de Estructuras	19	
Cantidad de Paneles Máximos	209	
Paneles por Inversor	22	MPPT
Capacidad de Inversores (kW)	5	3,6
Cantidad de Inversores	9	1
Potencia (kW)	45	3,6
Marca Inversor		Solis
Modelo Inversor	Solis 5k - 2G; Solis 3.6k - 2G	
Eficiencia		>0.99
Tensión Op. Inversor (Vdc)		100-500V
Corriente Máxima Entrada al Inversor (Idc)	15A+15A; 10A+10A	
Pérdidas Estimadas en el Cableado		25 kWh/kWp
Pérdidas Estimadas conversión DC-AC		42 kWh/kWp
Peso Módulo (kg)		18,5

Fuente: Elaboración propia.

Según la cantidad de paneles para instalar se necesitan diez inversores, de los cuales, nueve tienen una potencia de 5 kW y uno tiene una potencia de 3,6 kW.

3.4 Huella de dióxido de carbono

Al realizar este cambio de tecnologías, llamadas comúnmente energías verdes, se estará afectando positivamente al ambiente, al no emitir una cantidad de gases invernaderos, los cuales se transforman a aproximaciones en toneladas de dióxido de carbono. Cada proyecto tiene sus variantes, pero, como lo indica la Empresa Solar Innova se pueden extraer datos generales:

La generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos, no produce gases de efecto invernadero directamente. Pero las emisiones están asociadas con otras partes del ciclo de vida de los paneles, tales como: la fabricación y el transporte de los mismos. (pág. 2)

A lo que se refiere el texto anterior, es que se generaliza todo el impacto desde que se empieza a crear, hasta que se instala.

La huella de carbono de un panel solar fotovoltaico (el nivel medio de emisiones de gases de efecto invernadero del que es responsable durante un plazo superior a su tiempo de vida) es de unos 72 gramos de dióxido de carbono, equivalente por kilovatio hora de electricidad generada (gCO₂e/kWh), lo que supone un tiempo de retorno de la energía (Energy Payback Time) para la fabricación de dicho periodo, inferior a un año (considerando una vida útil del producto de 30 años) (pág. 3).

Al producir energía eléctrica por medio de paneles solares, no se está consumiendo energía que provee la empresa de servicios que brinda la conexión, en otras palabras, no se hace uso de energía eléctrica producida por fuentes no renovables, generando así otro efecto positivo sobre el ambiente y evitando que se liberen aproximadamente 0,51 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera por cada módulo de 260 W instalado.

Tabla 5 - Emisión de toneladas de dióxido de carbono evitado

Toneladas de CO ₂ Evitado	
Módulo 260 W	0,51 Toneladas de CO ₂
Cantidad de Módulos	204
Total CO₂ Evitado	104,04

Fuente: Elaboración propia.

Como se visualiza en la tabla anterior, al construir el parque con los doscientos cuatro paneles, se estará evitando una emisión de ciento cuatro toneladas de dióxido de carbono.

3.5 Diagrama unifilar y Montaje

Debido a que los planos incluyen información sensible, no fue posible incluirlos. En su lugar, se adjuntaron dos imágenes en baja calidad de las ubicaciones y del diagrama unifilar.

En el diagrama unifilar se muestra, cómo se conectarán los paneles solares a los disyuntores, seguidamente a los inversores, luego al centro de carga, luego al interruptor principal y para terminar, en el medidor de generación.

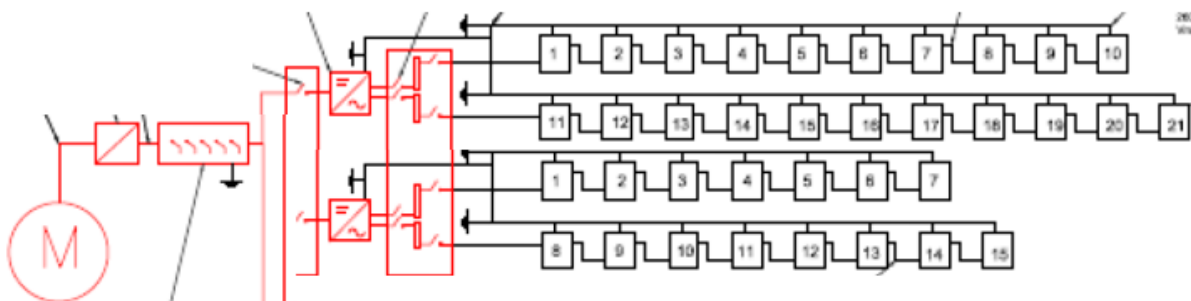


Figura 14 - Diagrama unifilar de los dos inversores conectados a los paneles.

Fuente: Creación propia.

Todas las tierras deben estar conectadas, así que conlleva un circuito parecido; del panel solar al inversor, luego al centro de carga y al interruptor principal.

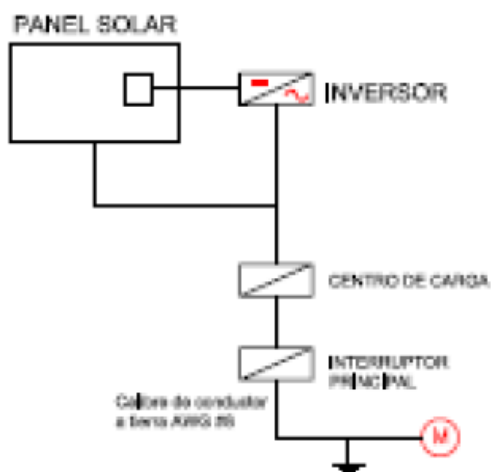


Figura 15 - Diagrama unifilar de puesta a tierra.

Fuente: Creación propia.

En cuanto al espacio físico, el diseño cumple con las especificaciones solicitadas y conforme con el área de techo existente:

El sistema solicitado en esta licitación, se instalará sobre techo construido en láminas de zinc estructural las cuales se encuentran montadas en una estructura de hierro a base de varilla de construcción y perling, y se sujetará a ella como soporte del sistema fotovoltaico.

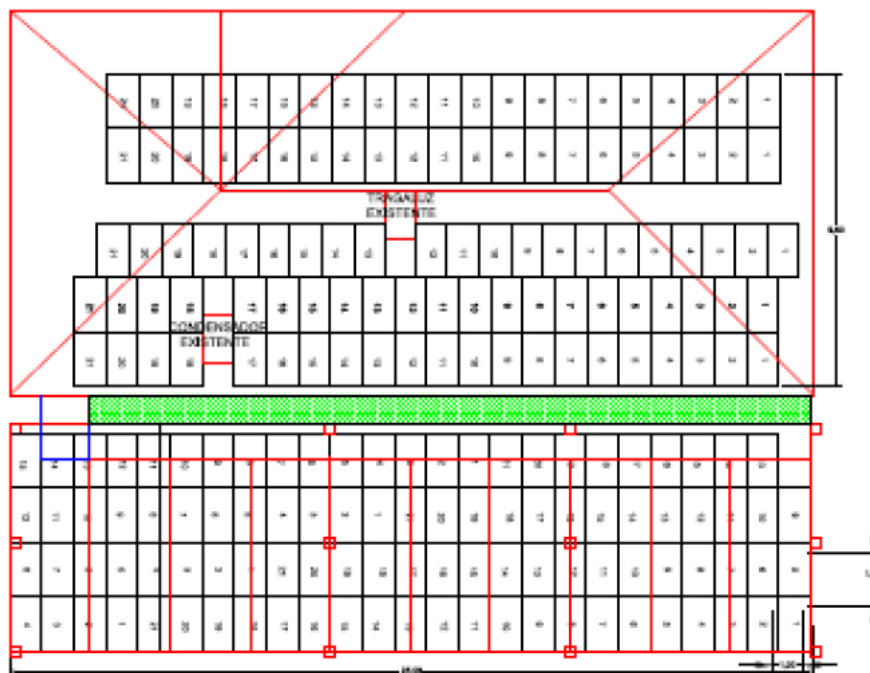


Figura 16 - Ubicación y montaje de los paneles solares.

Fuente: Creación propia.

En las estructuras y accesorios de montaje de paneles y partes, se han considerado materiales robustos de últimas y nuevas tecnologías en la construcción de marcos y molduras, aluminio protegido de bajo peso, o cualquier otro de mejor calidad.

La configuración de la conexión de los inversores deberá ser monofásica, 240V, 60Hz, y el rango de frecuencia de operación por fase variará entre 59.5 y 60.5 Hz.

Cumple con un ángulo de desfase de 0° (referido a la corriente), una protección para las partes del tipo DIN EN IP65, rango de temperatura de operación permitido es hasta $+60^\circ\text{C}$, y la temperatura ambiental entre 5°C y 40°C .

Los inversores deberán ser monitoreados y controlados vía Intranet por medio de software y protocolo IP, desde cualquier sitio por medio de Internet. El equipo para el monitoreo forma parte del suministro de esta contratación.

La Unidad de control deberá procesar y monitorear los parámetros más importantes de la energía procedente del generador fotovoltaico y de los inversores. Deberá ofrecer medios informáticos para llevar o recoger datos de producción, tales como: potencia instantánea de entrada y salida, producción de energía diaria y acumulada, voltaje y corriente de los arreglos fotovoltaicos, voltaje y frecuencia de la red de conexión de corriente alterna, mensaje de falla, pantallas configurables.

También deberá proveer software para procesar los datos, hacer y llevar gráficos estadísticos, históricos y curvas de eficiencia y otros. El acceso a esta información será restringido al administrador del sistema vía clave electrónica.

3.6 Inversión y Retorno

La inversión del proyecto es de \$1.75 por cada Watt de potencia instalado, el cual se estima con la multiplicación de la cantidad de paneles por la potencia que genera cada uno.

Ecuación 2 - Determinación de la inversión

$$53\,040\,W * \frac{\$1.75}{W} = \$92\,966$$

Tabla 6 - Inversión del Proyecto

Inversión	
Paneles solares requeridos	204
Potencia generada paneles (kWp)	53,04
Precio por Watt	\$1,75
Inversión del Proyecto	C\$50.387.636 \$92.966

Fuente: Elaboración propia.

El precio del kilowatt-hora del ICE está en ciento trece colones, el precio estimado del kilowatt-hora del proyecto es de veintinueve colones, lo que genera una diferencia por kilowatt de ochenta y cuatro colones.

Para determinar la generación necesaria para costear la inversión, se realizó la siguiente ecuación:

Ecuación 3 - Generación necesaria para retorno de inversión.

$$\text{Generación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Diferencia de precios}} = \frac{\text{¢}50.387.636}{\text{¢}84/\text{kWh}} = 598427,98 \text{ kWh}$$

Al estimar la generación diaria en 233.09 kWh, dato en la tabla 3, entonces se calculan los días necesarios para generar el equivalente a la inversión.

Ecuación 4 - Tiempo de Generación para retorno de inversión.

$$\text{Días de Generación} = \frac{598427,98 \text{ kWh}}{233,09 \text{ kWh/día}} = 2567,42 \text{ días}$$

Tabla 7 - Retorno de Inversión

Retorno de Inversión	
Precio por kWh, ICE	¢113
Precio por kWh, MODULO 260 WATT	¢29
Diferencia	¢84
Generación de potencia necesaria (kWh)	598427,98
Generación promedio diaria (kWh)	233,09
Días de generación para retorno de inversión	2567,42

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Garantía

En la siguiente tabla, se simplifican los datos de la garantía presentes en las fichas técnicas de los dispositivos.

Tabla 8 - Garantía de dispositivos

Garantías de Funcionamiento	
Vida útil de cada módulo	25 Años
Vida útil de cada inversor	20 Años

Garantía conjunto microinversor - panel	10 Años
Rendimiento del Módulo a 10 años (%)	0,912
Rendimiento del Módulo a 25 años (%)	0,807
Garantía Inversor Centralizado (años)	5 Años
Garantía Estructura de soporte (años)	5 Años
Garantía Instalación eléctrica (años)	5 Años

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El fácil acceso a la información por parte de la empresa, permite que el análisis del diseño se realice lo más rápido y asertivo posible.

El ajustarse a especificaciones según la licitación estuvo un poco complejo, ya que se tuvieron que realizar varias modificaciones, pues los requerimientos tanto técnicos como de calidad con que trabaja la empresa son estrictos y deja poco margen de desviación.

Como se esperaba, un sistema con microinversores es más costoso que uno con un inversor de cadena. Sin embargo, se debe tomar en cuenta, que algunos datos que afectarían la eficiencia del sistema, como los valores exactos de pérdidas en cableado, no pudieron incluirse en los cálculos, debido a falta de tiempo y/o de información. Debido a esto, los valores reales de generación y ahorro probablemente variarían con respecto de los que se utilizaron en el análisis económico. Por lo tanto, es posible que la eficiencia de un sistema con inversor de cadena sea suficientemente más baja, que la de uno con microinversores para hacerlo la opción más rentable.

A pesar de las complicaciones a lo largo del trabajo, se logró realizar una propuesta de diseño de un sistema que produciría un ahorro monetario de alrededor del 50%, lo cual se consideró satisfactorio, y los periodos de recuperación para ambas opciones parecen razonables.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al encargado del proyecto, seguir el orden propuesto para este; sobre todo, a la hora de ubicar los paneles.

Por limitaciones de tiempo, el estudio de consumo diario se llevó a cabo a lo largo de una semana. Si se decide instalar este sistema en la realidad, se debería realizar otro con una mayor duración para obtener datos más precisos.

Asumiendo que se deseara instalar el sistema tal y como fue diseñado, se recomendaría tomar la opción 2. La inversión inicial y el periodo de recuperación son mayores, pero por márgenes relativamente pequeños (menos de un 6% para ambos). Los microinversores tienen sus problemas, pero también tienen ventajas únicas que no deberían ignorarse:

En el caso de los modelos utilizados en este diseño, mejor eficiencia nominal.

Monitoreo a nivel de panel en lugar de a nivel de arreglo.

El siguiente paso para poner a funcionar el sistema sería la revisión del diseño y elaboración de planos oficiales por un miembro del CFIA. Una vez que se tenga esto, se deberían seguir las instrucciones delineadas en la *Guía de requisitos documentales y técnicos para solicitud de servicio de interconexión*. (Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.). Estos serían:

Presentación de documentos sobre el sistema diseñado y el local.

Estudio de viabilidad por la CNFL.

Instalación del sistema.

Inspección del sistema por la CNFL.

Presentación de documentos finales y firma del contrato de interconexión.

Instalación de equipo e interconexión por la CNFL.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colemar Santos, A., & Castro Gil, M.-A. C. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. 2ª edición. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Chaves Sibaja, W. (Abril de 2018). *Consulta sobre sistemas de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla en locales con TRH*. (M. Saborío Ordóñez, Entrevistador)
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (1986). *Código Sísmico de Costa Rica*. San José: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (2018). *Generación Distribuida*. Obtenido de CNFL - Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. Recuperado de <https://www.cnfl.go.cr/otros-servicios-os/generacion-distribuida-os>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (2018). *Tarifas Vigentes*. Obtenido de CNFL - Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. Recuperado de <https://www.cnfl.go.cr/servicios-residenciales-sr/tarifas-vigentes-sr>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (s.f.). *Guía de requisitos documentales y técnicos para solicitud de servicio de interconexión*. Obtenido de CNFL - Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. Recuperado de https://www.cnfl.go.cr/documentos/poasen/guia_requisitos_documentales_tecnicos.pdf
- Enríquez Harper, G. (2011). *Tecnologías de generación de energía eléctrica*. México: Limusa.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy. (26 de Febrero de 2018). *Photovoltaics Report*. Recuperado de R&D for Energy Transition - Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE - Fraunhofer ISE:

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Goswami, D. Y. (2015). *Principles of Solar Engineering*, Tercera Edición. Boca Raton: CRC Press.

Honsberg, C., & Stewart, B. (2018). *PVEducation*. Recuperado de PVEducation: <http://www.pveducation.org/>

Intendencia de Energía. (30 de marzo de 2016). *Aplicación por primera vez de la metodología para la tarifa de acceso a las redes de distribución por parte del productor-consumidor*. La Gaceta, págs. 116-122.

Ministerio de Ambiente y Energía. (8 de Octubre de 2015). *Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla*. La Gaceta, pág. 32-36.

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (12 de febrero de 2018). *Reglamento General de Seguridad en Construcciones*. La gaceta, pág. 2-63.

National Renewable Energy Laboratory. (2017). *Photovoltaic Research* | NREL. Recuperado de: <https://www.nrel.gov/pv/>

Solar Innova. (s.f.). *Huella de carbono: Fabricación módulos fotovoltaicos*. Recuperado de <http://www.solarinnova.net/images/stories/es/productos/fotovoltaica/modulos/manual/pdf/si-esf-m-huella-carbono.pdf>

Solargis s.r.o. (2018). *Solargis: pvPlanner*. Recuperado de: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/costa-rica>

Sunshine Energía Solar. (2017). Obtenido de Sunshine Energía Solar - Paneles Solares para ahorrar en energía.

GLOSARIO

Abonado: persona física o jurídica que ha suscrito uno o más contratos para el consumo de energía eléctrica.

Arreglo: Un conjunto de paneles solares.

Autoconsumo: es el aprovechamiento de la energía generada por parte del productor-consumidor para abastecer de forma exclusiva su propia demanda, en el mismo sitio donde la produce.

Aseguramiento de la calidad: es la integración de las actividades de planificación, diseño, construcción, mantenimiento y operación que una empresa eléctrica requiere, con el fin de que su servicio cumpla con los requisitos de calidad exigidos.

Azimut: Ángulo de una superficie con respecto del norte.

Calidad de la energía: se refiere a las características técnicas (físicas) con que la energía eléctrica se entrega a los abonados en función de sus requerimientos e involucra la continuidad con que ésta se ofrece.

Calidad del suministro eléctrico: integración de la calidad de la energía (calidad del voltaje, continuidad del suministro eléctrico) y la calidad en la prestación del servicio.

Calidad en la prestación del servicio: satisfacción de los abonados del servicio eléctrico, en relación con los aspectos de disponibilidad, comercialización y servicios en general, que se asocian directamente con el suministro de energía eléctrica.

Capacidad instalada: la suma de las potencias nominales de los generadores instalados dentro de las instalaciones eléctricas del abonado.

Distribución y comercialización: actividad que tiene por objeto el trasiego y venta de electricidad para satisfacer la demanda eléctrica de terceros, o en un punto de interconexión

distinto del sitio de donde se genera la electricidad. Esta actividad incluye la medición, lectura, facturación, cobro de energía entregada y otras actividades relacionadas.

Dióxido de carbono: Gas incoloro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico se encuentra en la naturaleza y está compuesto de un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El dióxido de carbono es un importante gas de efecto invernadero. La quema de combustibles de carbono desde la Revolución Industrial ha aumentado rápidamente su concentración en la atmósfera, lo que ha llevado a un calentamiento global. Es además la principal causa de la acidificación del océano, ya que se disuelve en el agua formando ácido carbónico.

Fuentes de energía renovable: fuentes de energía que están sujetas a un proceso de reposición natural y que están disponibles en el medio ambiente inmediato, tales como: la energía del sol, el viento, la biomasa, el agua, las mareas y olas, y los gradientes de calor natural.

Generación distribuida para autoconsumo: la alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de depósito y devolución de energía.

Horizonte: Los elementos del entorno que proyectan sombras sobre una superficie. Estos pueden incluir montañas, árboles, edificios y cualquier otro tipo de estructura elevada.

Norma técnica: precepto obligatorio establecido por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, conformado por un conjunto de especificaciones, parámetros e indicadores que definen las condiciones de calidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima con que deben suministrarse los servicios eléctricos.

Operación en paralelo: se da cuando de manera simultánea, opera un sistema de generación distribuida y la red de distribución eléctrica, existiendo la posibilidad de intercambiar electricidad entre ambos, mientras permanezcan interconectados.

Potencia pico: Medida en W_p , es la potencia de salida de un sistema fotovoltaico cuando este está recibiendo $1kW/m^2$ de radiación solar.

Punto de interconexión común: es el punto donde se interconecta la instalación del sistema de generación distribuida y la red de distribución eléctrica.

Puntos de medición: son aquellos sitios donde se contabiliza la energía que produce el sistema de generación distribuida y la energía consumida por el productor-consumidor.

Red de distribución nacional: es la etapa de la red eléctrica conformada por: las barras a media tensión de las subestaciones reductoras (alta/media tensión), subestaciones de maniobra o patios de interruptores, conductores a media y baja tensión, y los equipos de transformación, control, monitoreo, seccionamiento y protección asociados, para la utilización final de la energía.

Seguidor de Punto de Máxima Potencia: por sus siglas en inglés (Maximum Power Point Tracker)(MPPT). Los controladores de carga con MPPT siempre buscan el balance entre voltaje y corriente en el que los paneles solares operan a su máxima potencia.

Sistema de generación distribuida: es el conjunto de componentes necesarios para operar de forma paralela con la red de distribución eléctrica, que se permita en un punto de acceso realizar intercambios de electricidad.

Sistema Eléctrico Nacional: está conformado por los Sistemas de Generación, Transmisión y Distribución y Comercialización. Todos los elementos del SEN están interconectados.

ANEXOS

Anexo A – Antecedentes históricos de la empresa

Tabla 9 - Experiencia de la Empresa OROSOL en instalación de Paneles Solares.

Proyecto	Tipo de Trabajo	Ubicación	Propietario o Encargado	Teléfono	Monto	Año	kWp
Universidad Earth	Instalación de Paneles Solares	Guácimo, Limón	Dra. Mildred Linkimer	2713-4020	\$17.100	2013	7,7
Finca San Marcos	Instalación de Paneles Solares	Matina, Limón	Felipe Vargas	8367-3595	\$22.500	2012	5,5
Peluquería Oreamuño	Instalación de Paneles Solares	Lourdes, Montes de Oca	Santiago Jimenez	2281-4140	\$25.000	2015	10,78
Iribeth Viquez	Instalación de Paneles Solares	San Lorenzo, Flores	Iribeth Viquez	8859-6480	\$6.174	2015	2,94
Belisario Perez	Instalación de Paneles Solares	Cubujuqui, Heredia	Belisario Perez	8821-9772	\$5.500	2015	2,45
Bob Smith	Instalación de Paneles Solares	Esterillos Oeste, Parrita	Bob Smith	8332-8092	\$25.000	2015	12,25
Súper Nosara	Instalación de Paneles Solares	Nosara, Nicoya	Jose Luis Obando	6162-9748	\$48.000	2015	24,5

Fuente: Orosol Energy..

Anexo B - Eficiencias de celdas solares de diferentes materiales/tecnologías, en condiciones de laboratorio, a través de los años.

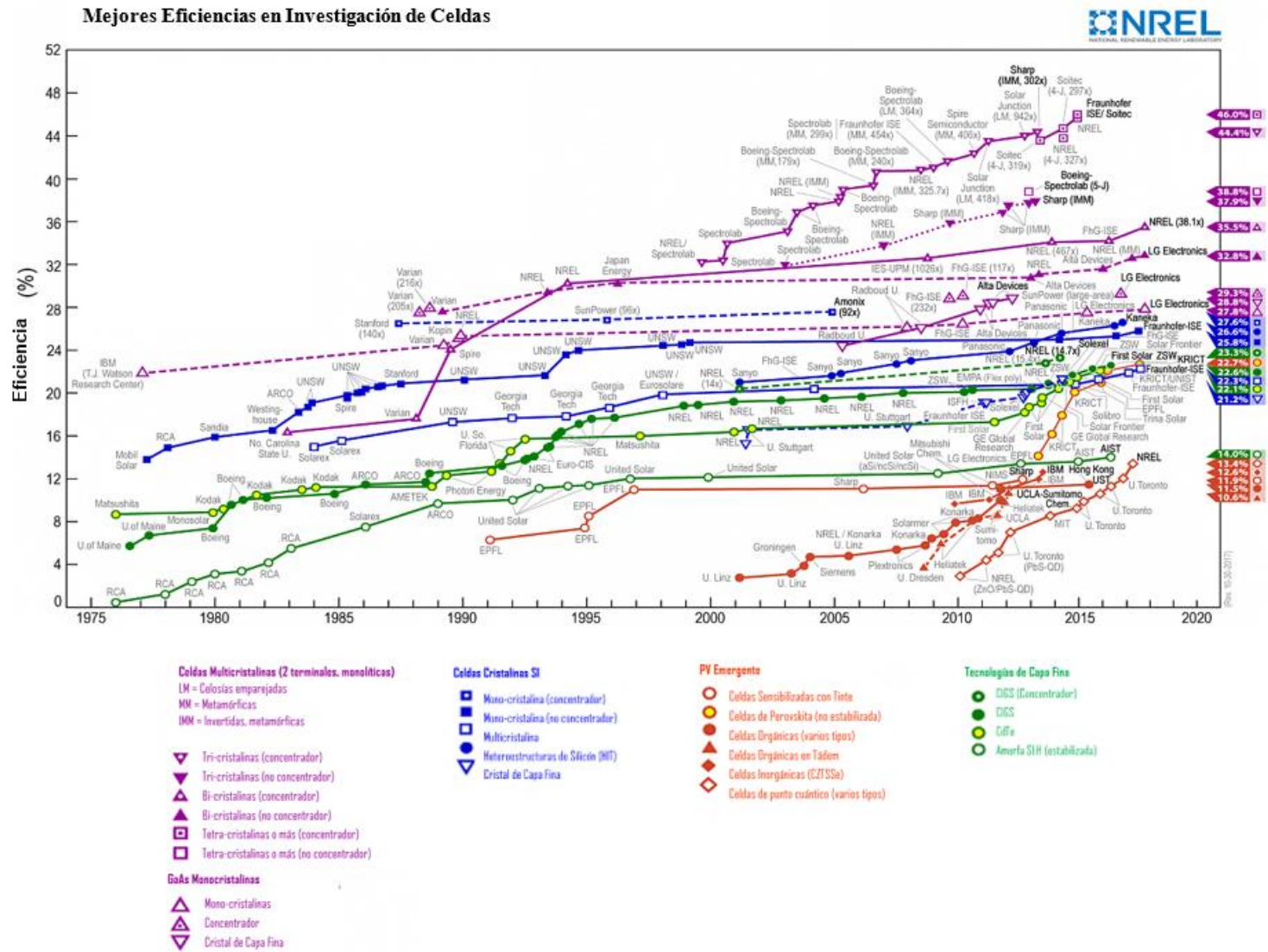


Figura 17 - Eficiencias de celdas solares de diferentes materiales/tecnologías, en condiciones de laboratorio, a través de los años.

Fuente: (National Renewable Energy Laboratory, 2017)

Anexo C – Huella de Carbono al fabricar e instalar paneles solares.



**SOLAR
INNOVA**

looking for the future

HUELLA DE CARBONO FABRICACIÓN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS





SOLAR INNOVA GREEN TECHNOLOGY, S.L.
 N.I.F.: 250-04.027.276
 Paseo de los Molinos, 12, Bajo
 03060 - NOVIEDA (Alicante) SPAIN
 Tel./Fax: +34 965075767
 E-mail: info@solarinnova.net
 Website: www.solarinnova.net



FABRICACIÓN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – HUELLA DE CARBONO



Los productos de Solar Innova están ubicados dentro del campo de las energías renovables; como tal tienen la virtud de proveernos de un recurso energético de manera más ecológica, permitiendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, en comparación con las formas convencionales de producción energética.

Solar Innova da un paso más, considerando de igual importancia no sólo los beneficios futuros que nuestros paneles fotovoltaicos proporcionarán durante su ciclo de vida, sino teniendo en cuenta además la energía empleada durante el proceso de fabricación de cada panel.

El estudio de la "Huella de Carbono" (Carbon Footprint) debe ser acorde a la Norma ISO 1064 y al The Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) organismo para cuantificar y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero y tiene como objetivo determinar la repercusión en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por causa directa o indirecta a lo largo de toda la cadena de valor del producto (Ciclo de Vida de Cuna a Tumba), valorando, de este modo, el impacto real de sus módulos en el entorno.

La generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos no produce gases de efecto invernadero directamente. Pero las emisiones están asociadas con otras partes del ciclo de vida de los paneles tales como: la fabricación y el transporte de los mismos.

Los principales componentes de los paneles solares fotovoltaicos están hechos de silicio cristalino. La fabricación de estos componentes es un proceso de alto consumo energético que representa un alto porcentaje del total de energía utilizada para hacer los paneles solares. La huella exacta de carbono de cualquier panel solar en particular depende de muchos factores, incluyendo el origen de los materiales, la distancia que tienen que ser transportados y la fuente de energía utilizado por las plantas de fabricación.

La repercusión sobre las emisiones de gases de efecto invernadero de los distintos procesos asociados a la fabricación de nuestros paneles solares fotovoltaicos son las siguientes:

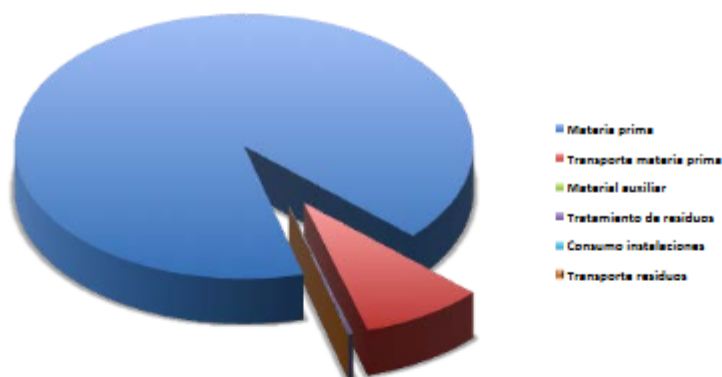
CONCEPTO	REPERCUSIÓN
Producción de células	78 %
Consumo de electricidad en planta de fabricación	13,8 %
Otros consumos en planta	8,2 %





Si se contempla la emisión producida, además de por el propio proceso de fabricación, por el transporte de materias primas, residuos, y tratamiento de éstos, el resultado es el siguiente:

CONCEPTO	REPERCUSIÓN
Materia prima	91 %
Transporte materia prima	8,7 %
Material auxiliar en línea de fabricación	0,02 %
Tratamiento residuos	0,22 %
Consumo instalaciones	0,05 %
Transporte residuos	0,01 %



La huella de carbono de un panel solar fotovoltaico (el nivel medio de emisiones de gases de efecto invernadero del que es responsable durante un plazo superior a su tiempo de vida) es de unos 72 gramos de dióxido de carbono equivalente por kilovatio hora de electricidad generada ($\text{gCO}_2\text{e/kWh}$), lo que supone un tiempo de retorno de la energía (Energy Payback Time) para la fabricación de dicho periodo, inferior a un año (considerando una vida útil del producto de 30 años).

En Solar Innova seguimos optimizado todos estos conceptos para reducir al máximo la huella de carbono de nuestros productos.

Anexo D – Radiación solar en Costa Rica, tomado de Solargis.

MAPA DE RECURSOS SOLARES

**POTENCIAL DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
COSTA RICA**



Promedio a largo plazo del PVOUT, periodo 1999 - 2015



Este mapa fue publicado por el Grupo Banco Mundial, fundado por ESMAP, y preparado por Solargis. Para más información y términos de uso, por favor visite <http://globalsolaratlas.info>

Anexo E – Ficha técnica de los paneles solares

YINGLI SOLAR

YGE

60 CELL

SERIE 2

SILICIO NEGRO



19,0%
EFICIENCIA DE LA CÉLULA

10 AÑOS
GARANTÍA DE PRODUCTO

0 - 5W
TOLERANCIA DE POTENCIA

Garantía lineal a 25 años



■ Garantía lineal de potencia Yingli
■ Garantía estándar del sector

YINGLISOLAR.COM





EL POTENCIAL DEL NEGRO


ALTA TECNOLOGÍA PARA SU SISTEMA

Los módulos YGE de silicio negro suponen otro hito en los 20 años de historia de I+D de Yingli. Un especial proceso de producción da lugar a una superficie de células negra que absorbe la mayor parte de la luz solar. Más luz absorbida se traduce en menos luz reflejada y más eficiencia de conversión energética y rendimiento eléctrico, lo que incrementa la potencia de su sistema.

+ $\frac{W}{m^2}$ Alta densidad de potencia
La mayor densidad de potencia de los módulos se traduce en una menor huella de su sistema y una reducción de los costes específicos del sistema.

 **Comportamiento con poca luz**
Los módulos YGE de la serie Silicio Negro son altamente sensibles a los fotones y siguen produciendo energía incluso con poca luz.

 **Resistente al PID**
Probado conforme a los estándares de durabilidad más estrictos del sector, los módulos YGE de la serie Silicio Negro son resistentes a PID de conformidad con la IEC 62804. Para garantizar la resistencia a PID en tensiones de sistema más altas, estas células cuentan con una capa de protección extra de nitruro de silicio.

 **Cristal avanzado**
Nuestro cristal de alta transmisión cuenta con una capa antirreflectante única que permite dirigir más luz hacia las células solares, resultando en una mayor producción energética.

Yingli Green Energy

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE:YGE), conocida como "Yingli Solar", es uno de los fabricantes líderes de paneles solares con la misión de ofrecer energía verde asequible para todos. Yingli Solar hace posible la energía solar en comunidades en todo el mundo gracias a su experiencia global en fabricación y logística para abordar retos locales específicos.

YGE 60 CELL SERIE 2 SILICIO NEGRO

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Parámetros eléctricos en condiciones de prueba estándar (STC)

Tipo de módulo	YLONGP-29b(xxx=Pmax)							
	P _{max}	W	280	275	270	265	260	255
Potencia de salida	P _{max}	W	280	275	270	265	260	255
Tolerancias de potencia de salida	ΔP _{max}	W	0/+5					
Eficiencia del módulo	η _m	%	17,1	16,8	16,5	16,2	15,9	15,6
Tensión en P _{max}	V _{mp}	V	31,4	31,0	30,7	30,5	30,3	30,0
Intensidad en P _{max}	I _{mp}	A	8,92	8,90	8,80	8,70	8,59	8,49
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	38,2	37,9	37,9	37,8	37,7	37,7
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	9,45	9,35	9,27	9,18	9,09	9,01

STC: 1000 W/m² de irradiancia, 25°C de temperatura de célula, espectro AM1.5g conforme a la EN 60904-3.
Reducción media de la eficiencia relativa de 3,3% a 200 W/m² según la EN 60904-1.

Parámetros eléctricos a temperatura operativa nominal de la célula (NOCT)

Potencia de salida	P _{max}	W	204,4	200,6	196,9	193,2	189,7	186,0
Tensión en P _{max}	V _{mp}	V	28,6	28,2	28,0	27,8	27,6	27,4
Intensidad en P _{max}	I _{mp}	A	7,14	7,12	7,04	6,96	6,87	6,79
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	35,3	35,0	35,0	34,9	34,8	34,8
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	7,64	7,56	7,49	7,42	7,35	7,28

NOCT: temperatura operativa del módulo en circuito abierto a 800 W/m² de irradiancia, 20°C de temperatura ambiente y 1m/s de velocidad del viento.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura operativa nominal de la célula	NOCT	°C	46 +/- 2
Coefficiente de Temperatura de P _{max}	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de Temperatura de V _{oc}	β _{oc}	%/°C	-0,32
Coefficiente de Temperatura de I _{sc}	α _{sc}	%/°C	0,05

CONDICIONES OPERATIVAS

Tensión máxima del sistema	1000V _{DC}
Valor máximo del fusible en serie	15A
Limitación de corriente inversa	15A
Rango de temperatura de operación	-40°C a 85°C
Máxima carga estática frontal (ej. nieve)	5400Pa
Máxima carga estática posterior (ej. viento)	2400Pa
Máx. impacto por granizo (diámetro/velocidad)	25mm / 23m/s

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Cubierta frontal (material / espesor)	Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 3,2 mm
Célula solar (cantidad / tipo / dimensiones / número de busbar)	60 / silicio multicristalino / 156,75 mm x 156,75 mm (+/-0,25) / 4 o 5
Marco (material)	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP67
Cable (longitud / sección transversal)	1000mm / 4mm ²
Conector (tipo / grado de protección)	MC4 / IP68 o YTO8-15 / IP67 o Amphenol H4 / IP68 o Forsol SIKE4/IP68 o Renhe RHOS-6/IP67

- Debido a la continua innovación, investigación y mejora del producto, la información y las especificaciones citadas en esta hoja de características están sujetas a cambios sin previo aviso. Las especificaciones pueden variar ligeramente y no están garantizadas.
- Los datos no están referidos a un único módulo, se facilitan solo a efectos de comparación entre diferentes tipos de módulos.

CUALIFICACIONES Y CERTIFICADOS

IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000

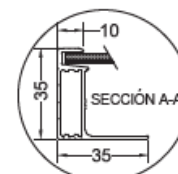
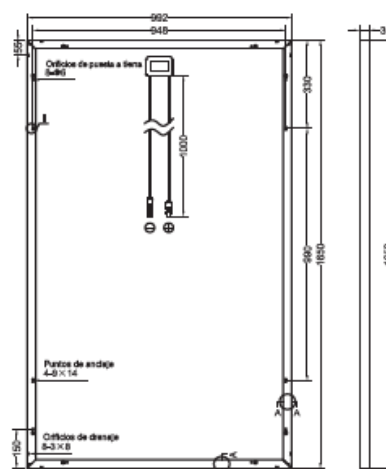
CARACTERÍSTICAS GENERALES

Dimensiones (L/A/A)	1650 mm / 992 mm / 35 mm
Peso	18,5 kg

ESPECIFICACIONES DE EMBALAJE

Número de módulos por palé	30
Número de palés por contenedor de 40'	28
Dimensiones de la caja de embalaje (L/A/A)	1700 mm / 1135 mm / 1165 mm
Peso de la caja	588 kg

Unidad: mm



Advertencia: Lea el Manual de Instalación y Uso en su totalidad antes de manejar, instalar u operar módulos de Yingli Solar.

Partners de Yingli:

Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.

service@yingli.com

Tel: +86-312-2188055

Anexo F – Ficha técnica de los Inversores

GCI-2G-W-US Single Phase Inverter
1kW-5kW

GCI-1kW-5kW



Leading Features

- ▶ Over 97.8% Max. efficiency
- ▶ 40 point leading three and four MPPT design with precise MPPT algorithm
- ▶ Specific grid-connection controlling algorithm for wind turbine
- ▶ Industry widest input voltage range
- ▶ Industry leading three and four MPPT design with precise MPPT algorithm
- ▶ Integrated AFCI option
- ▶ Compact and light design for one-person easy installation
- ▶ NEMA 4X enclosure with anti-corrosion feature, visually pleasing for indoor and out door installations
- ▶ Rs485 Modbus communications, WiFi/GPRS(optional) interface
- ▶ Web-based data monitoring and 'SolisWeb' APP
- ▶ 10 years standard warranty with optional extensions

Manufacturer: Ginlong (Ningbo) Technologies Co.,Ltd., Ningbo, Zhejiang, P.R.China

US office: 565 Metro Pl. S. Suite 3214, Dublin OH 43017, USA

Toll-free: 866.438.8408 | **Email:** sales@ginlong.com | sales@ginlong-usa.com

Web: www.ginlong.com



Datasheet

Model	GCI-1K-2G-W-US	GCI-1.5K-2G-W-US	GCI-2K-2G-W-US	GCI-2.5K-2G-W-US	GCI-3K-2G-W-US	GCI-3.6K-2G-W-US	GCI-3.8K-2G-W-US	GCI-4K-2G-W-US	GCI-4.6K-2G-W-US	GCI-4K-2G-W-US	
Energy source	WIND										
DC Values											
Max.DC input power	1.2kW	1.8kW	2.3kW	3kW	3.5kW	4.2kW	4.6kW	4.6kW	5.3kW	5.8kW	
Max.DC input voltage	500V			600V							
Start-up DC voltage	40V										
MPPT voltage range	30-400V			30-540V							
Rated DC voltage	250V			300V							
Max.input current	10A			20A			25A				
MPPT number/Max input strings number	1/1										
AC Values											
Nominal output power (Watt)	1000	1500	2000	2500	3000	3600	3800	4000	4600	5000	
Max. continuous output power (Watt)	1100	1700	2200	2800	3300	4000	4000	4400	5000	5000	
Nominal grid voltage (Volts)	208/240										
Operating voltage range (Volts)	183-228(for 208V rated)/211-264(for 240V rated)										
Operating phase	Single										
Max continuous output current (Amps)	5.2	8.1	10.5	13.3	15.7	16	16	21	23.8	23.8	
Max overcurrent protection device (Amps)	10			20				30			
Rating grid output current (Amps)	4.8/4.2	7.2/6.3	9.6/8.3	12/10.4	14.4/12.5	16/15	16/15.8	19.2/16.7	20.9/20	23.8/20.8	
Output power factor	>0.99										
Grid current THD	<3%										
DC injection current (mAmps)	<20										
Nominal grid frequency (Hertz)	60										
Operating frequency range (Hertz)	59.3-60.5										
Efficiency											
Peak efficiency	96.8%			97.5%			97.8%				
CEC weighted efficiency	96.2%			96.8%			97.0%				
MPPT efficiency	99.9%										
Protection											
Temperature protection	Yes										
DC reverse-polarity protection	Yes										
AC short circuit protection	Yes										
AC output overcurrent protection	Yes										
Output overvoltage protection-Varistor	Yes										
Ground fault monitoring	Yes										
Grid monitoring	Yes										
Islanding protection	Yes										
Integrated DC switch	Yes										
Integrated AFCI(DC arc-fault circuit protection)	Yes										
Rapid shutdown	Optional										
General data											
Dimensions(W*H*D)	13.3*25.9*6.5in			13.3*25.9*6.8in							
Weight	21.6lb			33.1lb			38.6lb				
Topology	Transformerless										
Internal consumption	<1W(Night)										
Ambient operating temperature range	-25°C~-60°C/-13°F~-140°F										
Enclosure type	NEMA 4X										
Noise emission(typical)	<30 dBA										
Cooling type	Natural convection										
Max.operating altitude without derating	13120ft										
Designed lifetime	>20 years										
Compliance	CAN/CSAC22.2 N107.1, UL1741, IEEE1547, UL1998, UL1699B, FCC part15,Class B										
Operating surroundings humidity	0-100%										

Manufacturer: NINGBO GINLONG TECHNOLOGIES

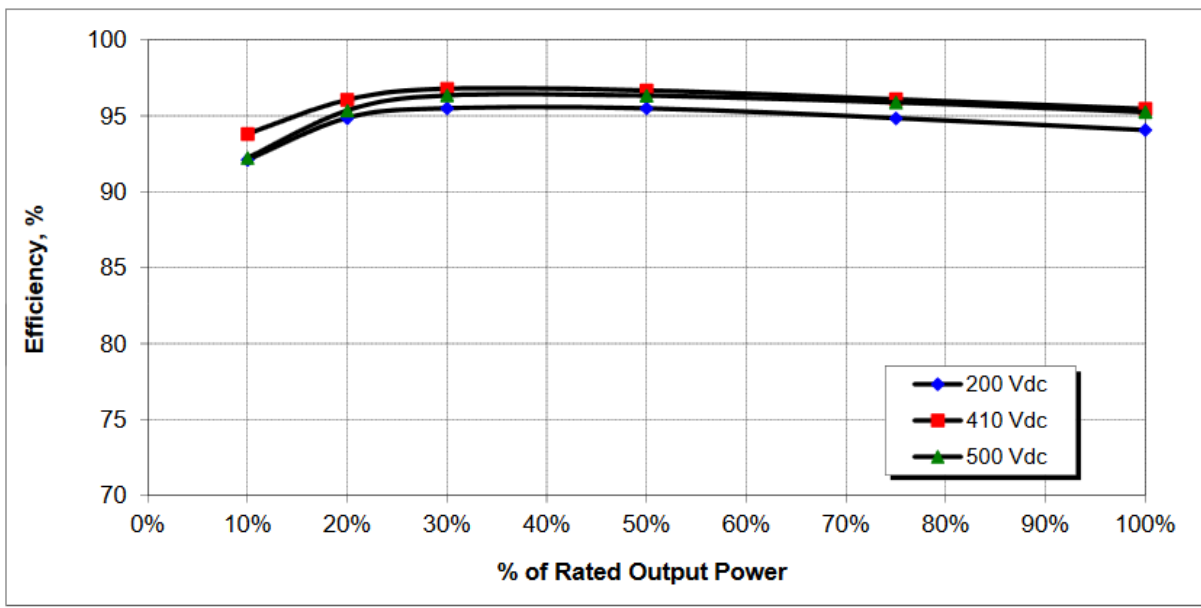
Model #: GCI-5K-DB

Rated Maximum Continuous Output Power: 5.00 kW Night Tare Loss: 0.45 W

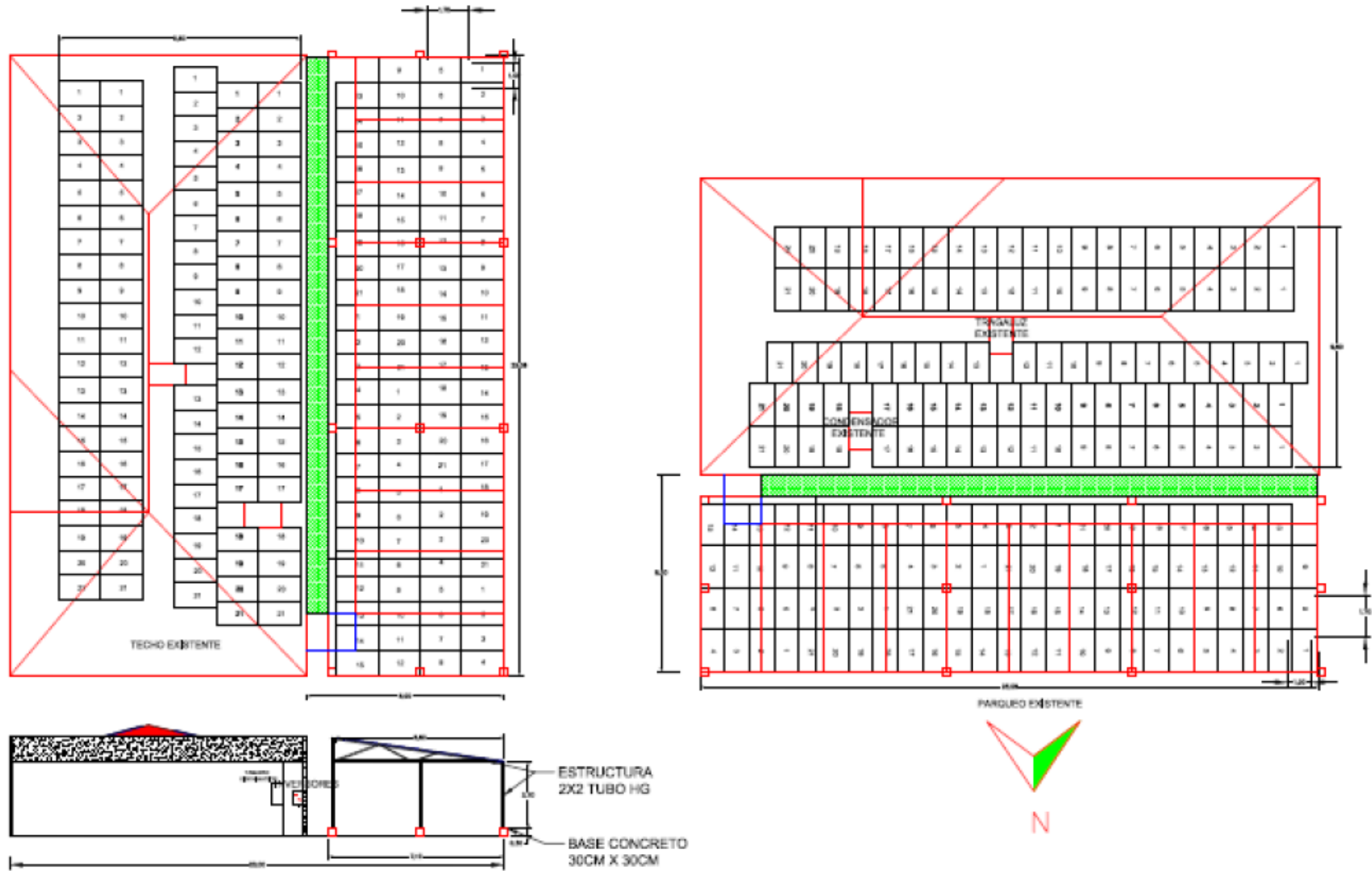
Vmin: 200 Vdc Vnom: 410 Vdc Vmax: 500 Vdc

Input Voltage (Vdc)	Power Level (%; kW)						Wtd
	10%	20%	30%	50%	75%	100%	
Vmin 200	92.1	94.9	95.5	95.5	94.8	94.1	94.9
Vnom 410	93.8	96.1	96.8	96.7	96.1	95.5	96.2
Vmax 500	92.2	95.4	96.4	96.3	95.9	95.3	95.8

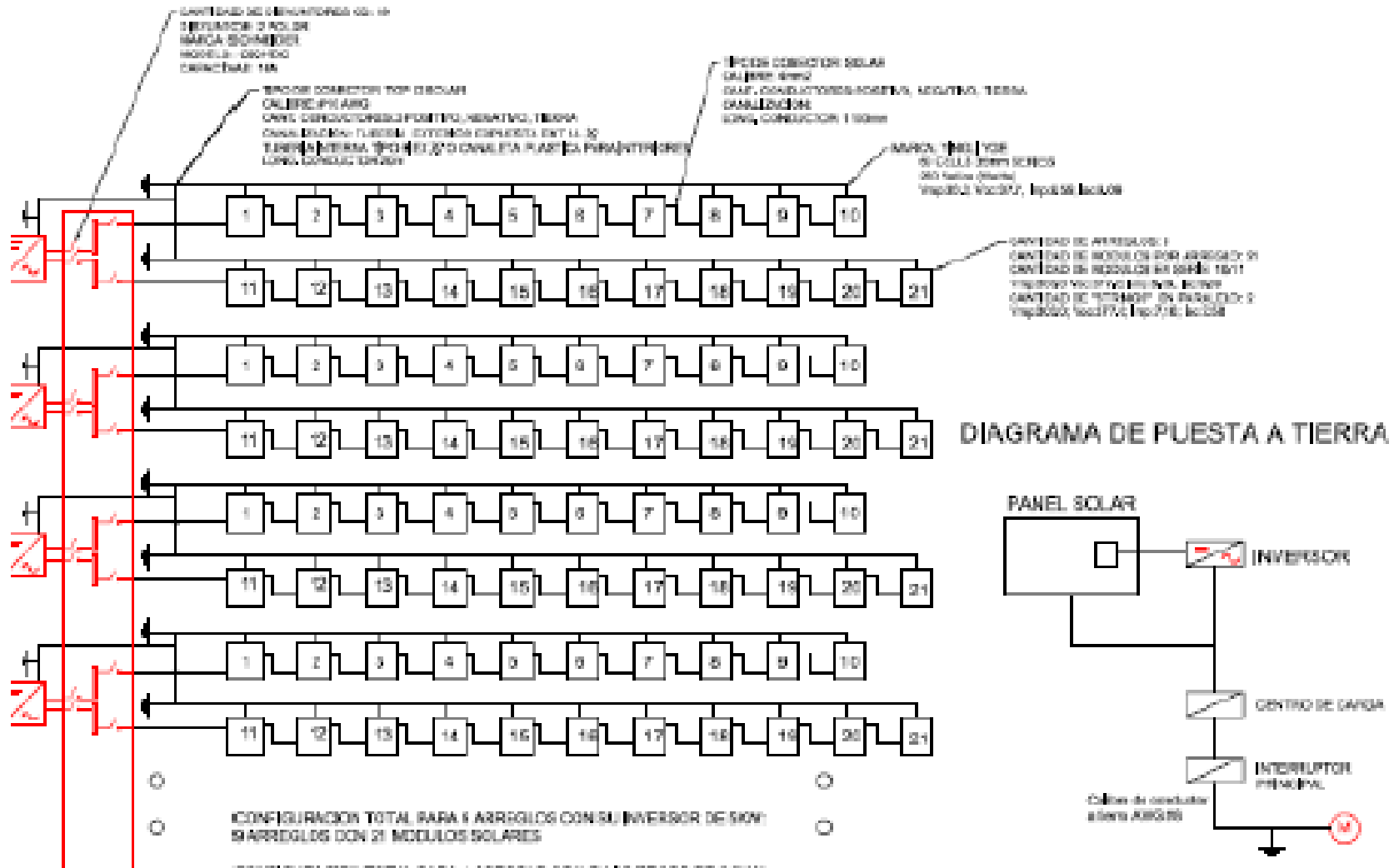
CEC Efficiency = 95.5%



Anexo G – Ubicación de los módulos en el techo de la Empresa COCESNA CR.



Anexo H – Diagrama unifilar de la estructura de los paneles



Debido a que los planos incluyen información sensible, no fue posible incluirlos. En su lugar, se adjuntaron dos imágenes en baja calidad de las ubicaciones y del diagrama unifilar.