

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**  
**VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA DE LA INVESTIGACIÓN:**

**“DISEÑO ELECTROMÉCANICO PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA  
UNA ESTACIÓN DE REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR”**

**MODALIDAD DE TESINA PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN  
INGENIERÍA ELECTROMÉCANICA**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:**

**DENNIS ZÚÑIGA HERNÁNDEZ**

**TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:**

**ÁLVARO ROJAS CAMACHO**

**SEDE ARANJUEZ**

**MARZO, 2019**

## Tabla de Contenidos

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema .....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Antecedentes .....	5
1.4.1 Antecedente N°1.....	5
1.4.2. Antecedente N°2.....	7
1.4.3. Antecedente N°3.....	11
1.5. Proyecciones .....	18
1.6. Limitaciones.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. El Sol como fuente de energía .....	19
2.2. La constante Solar.....	21
2.3. Energía Solar en Costa Rica .....	21
2.4. Sistemas Fotovoltaicos .....	24
2.5. Elementos de un sistema fotovoltaico .....	25
2.6. El Panel Solar o módulo fotovoltaico .....	26

2.7.	Tipos de paneles solares .....	30
2.7.1.	Paneles solares mono cristalinos .....	30
2.7.2.	Paneles solares policristalinos: .....	30
2.7.3.	Paneles solares amorfos.....	31
2.7.4.	Paneles solares de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobres:.....	31
2.7.5.	Paneles solares de arsénico de galio: .....	31
2.7.6.	Paneles solares de di seleniuro de cobre en indio:.....	31
2.7.7.	Paneles solares de telurio de cadmio: .....	31
2.7.8.	Paneles solares híbridos:.....	31
2.8.	Determinación del número de paneles solares.....	33
2.9.	Ángulo de inclinación del panel solar.....	33
2.9.1.	Acimut ( $\alpha$ ): .....	33
2.9.2.	Inclinación o elevación ( $\beta$ ): .....	33
2.9.3.	Incidencia( $\varphi$ ): .....	33
2.9.4.	Declinación ( $\delta$ ): .....	34
2.9.5.	Latitud ( $\phi$ ):.....	34
2.9.6.	Distancia mínima entre paneles .....	36
2.10.	Agrupamiento de los paneles solares.....	37
2.10.1.	Serie .....	37
2.10.2.	Paralelo .....	37

2.10.3.	Mixta.....	37
2.11.	Reguladores .....	38
2.11.1.	Tipos de reguladores.....	38
2.12.	Inversor DC/AC .....	39
2.12.1.	Configuración de los inversores .....	39
2.12.2.	Características de un inversor comercial .....	40
2.12.3.	Tipos de inversores.....	41
2.12.4.	Micro inversores.....	42
2.13.	Acumuladores.....	43
2.14.	Dispositivos de medición .....	45
2.15.	Celdas de combustible.....	48
2.14.1.	Celda de combustible alcalina .....	49
2.14.2.	Celda de combustible de membrana de intercambio de protones .....	51
	.....	51
2.14.3.	Celda de combustible de Ácido Fosfórico.....	52
2.14.4.	Celdas de combustible de carbonato fundido (MCFCs).....	53
2.14.5.	Celdas de combustible de óxido sólido (SOFC).....	53
2.16.	Planta Generadora Diesel .....	53
2.16.1.	Ventajas de un generador diésel .....	54
2.16.	Matemática Financiera .....	55

2.16.1. Valor Actual Neto (VAN) .....	55
2.16.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	56
2.17. Normas y legislación vigente sobre generadores para autoconsumo a partir de energías renovable .....	57
2.17.1 Generación distribuida para autoconsumo .....	58
2.17.2. Norma POASEN .....	60
2.17.3. Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla N° 39220- MINAE .....	63
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	69
3.1. Enfoque de la investigación.....	69
3.2. Método de la investigación.....	70
3.3. Fuentes de la investigación.....	71
3.4. Variables o Categorías de Análisis .....	72
3.5. Instrumentos .....	75
3.6. Proceso para la Recolección y Análisis de Datos.....	75
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	77
5.1 Diagnóstico.....	77
5.1.1 Ubicación Geográfica .....	77
5.1.2. Radiación Solar .....	78
5.1.3. Ubicación de los paneles solares .....	81

5.1.4.	Consumos mensuales de corriente electricidad la estación de RTV. ....	82
5.1.5.	Cargas Críticas en Estaciones de Revisión Técnica Vehicular. ....	83
5.2.	Cálculo de la cantidad de paneles solares. ....	87
5.3.	Cálculo de potencia producida por el número de paneles. ....	87
5.4.	Cálculo del Inversor. ....	91
5.4.1.	Cálculo de inversor para instalación conectada a la red. ....	91
5.4.2.	Configuración de conexión de paneles solares. ....	92
5.4.3.	Área total de diseño fotovoltaico. ....	95
5.4.3.1	Peso total del arreglo ....	95
5.4.4.	Cálculo de conductores y protecciones ....	96
5.5.	Análisis Financiero. ....	98
5.6.	Cálculo óptimo de numero de paneles ....	106
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		112
5.1.	Conclusiones. ....	112
5.2.	Recomendaciones. ....	113
CAPÍTULO VI: PROPUESTA .....		115
Referencias Bibliográficas. ....		122
APÉNDICES .....		125
Apéndice 1. Ficha técnica de inversor. ....		125
Apéndice 2. Ficha técnica del panel solar ....		128

Apéndice 3. Cotización de sistemas fotovoltaicos .....	129
Apéndice 4. Rieles para estructura de paneles solares .....	130
Apéndice 5. Tarifas vigentes CNFL .....	131
Apéndice 6. Cotización Planta Generadora .....	132
Apéndice 7. Cotización de alquiler de Planta Generadora .....	134
Apéndice 8. Información Banco Promerica .....	135
Apéndice 9. Entrevista N 1 .....	137
Apéndice 10. Guía para trámite de Generación Distribuida .....	138

**Figuras.**

Figura 1. Pasaje de la radiación solar a través de la atmósfera. ....	20
Figura 2. Valores diarios medios anuales de la radiación solar global y el potencial por distrito en Costa Rica.....	23
Figura 3 Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada .....	25
Figura 4 Panel Solar .....	27
Figura 5. Estructura interna de un panel solar.....	27
Figura 6 Circuito equivalente de paneles solares. ....	28
Figura 7 Circuito equivalente del generador. ....	29
Figura 8 La curva característica de un panel solar. ....	30
Figura 9 Diferentes tipos de paneles solares. ....	32
Figura 10 Ángulo Acimut.....	34
Figura 11 Ángulo de inclinación.....	34
Figura 12 Ángulo de incidencia .....	35

Figura 13 Declinación. ....	35
Figura 14 Placas solares según latitud. ....	35
Figura 15 Método para cálculo de distancia ....	36
Figura 16. Conexión en serie. ....	37
Figura 17. Conexión paralela. ....	37
Figura 18 Conexión mixta. ....	38
Figura 19 Conexión reguladora según configuración. ....	39
Figura 20 Principio de funcionamiento de inversor. ....	40
Figura 21 Tipos de inversores ....	41
Figura 22. Diagrama de conexión de inversores individuales a cada módulo. ....	43
Figura 23 Estados de un acumulador-batería ....	44
Figura 24. Conexión serie-paralelo de baterías. ....	45
Figura 25. Diagrama medidor bidireccional. ....	46
Figura 26. Esquema de instalación de medidores ....	47
Figura 27. Historia de las Cedas Solares. ....	49
Figura 28 Funcionamiento Celda AFC. ....	50
Figura 29 Celda de combustible alcalina. ....	51
Figura 30. Estructura celda solar PAFC. ....	52
Figura 31 Catalizador de Platino. ....	52
Figura 32. Sistema conectado a la red ....	59
Figura 33. Esquema de energía solar excesiva. ....	59
Figura 34. Sistema energía solar + eléctrica. ....	60
Figura 35. Sistema utilizado en la noche. ....	60
Figura 36. Ubicación geográfica de la estación. ....	77

Figura 37. Mapa de la radiación solar en Costa Rica. ....	79
Figura 38. Radiación Solar diaria. San Miguel Santo Domingo de Heredia (MJ/m <sup>2</sup> dia)....	79
Figura 39. Radiación Solar diaria. San Miguel Santo Domingo de Heredia (kWh/m <sup>2</sup> dia) .	80
Figura 40. Vista área de la estación para determinar área de techo. ....	81
Figura 41. Colocación de los paneles solares en el techo.....	93
Figura 42. Criterios para Ángulo de inclinación. ....	94
Figura 43. Cálculo trigonométrico de la inclinación. ....	94
Figura 44. Tarifas de acceso a la red. ....	98
Figura 45. Tarifas de interconexión a la red.....	99
Figura 46. Diagrama agrupación de paneles .....	117
Figura 47 Ubicación propuesta para paneles e inversores en la Estación de San Miguel..	118
Figura 48. Techo de la estación.....	119
Figura 49. Diagrama unifilar. Fuente propia .....	120
Figura 50. Diagrama unifilar UPS.....	121.

## **Dedicatoria**

A mis padres que me dieron las herramientas necesarias para alcanzar las metas y ser siempre un apoyo incondicional, enseñarme que solo con esfuerzo y dedicación diaria se pueden lograr los objetivos.

A mi esposa porque con su apoyo y paciencia fue mi ayuda invaluable ha sido mi compañera en esta etapa de mi vida y sin ella no lo hubiera logrado.

## **Agradecimiento**

A mis profesores que fueron los que me ayudaron a obtener los conocimientos necesarios para la vida profesional.

A mis compañeros de trabajo quienes desinteresadamente aportaron un granito de arena para que yo pudiera ir a clases sin esperar nada a cambio y siempre apoyándome.

A Riteve por permitirme realizar el trabajo final en sus instalaciones y darme el apoyo durante tantos años de estudio.

## Resumen

En este trabajo de investigación se efectúa el análisis para diseñar cual es el mejor sistema de energías renovables y de emergencia; sistema formado por paneles solares que toma en cuenta la ubicación geográfica e instalaciones de la Estación de Riteve ubicada en Santo Domingo de Heredia.

Asimismo, se realiza una recopilación de información para entender el funcionamiento de un sistema fotovoltaico, sus partes principales y el funcionamiento de cada una de ellas. Además, se investiga la legislación vigente en el país y se profundiza en ella, la cual se toma en cuenta para el diseño propuesto en esta investigación, de manera que es un sistema conectado a la red que cumple con lo ya estipulado en cuanto a generación corriente eléctrica y energía máxima que se pueda utilizar, todo esto bajo la tarifa vigente de la ARESEP.

Es por estas razones que el trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo, ya que, mediante los datos de consumos diarios de energía, radiación solar, dimensiones y tarifas se determina el diseño óptimo de paneles solares que mejor se adecue y a la vez satisfaga la demanda energética de una estación de este tipo.

Finalmente, mediante el diseño y análisis financiero se obtuvo el mejor sistema, el cual presenta una inversión inicial, que mediante el análisis del VAN y el TIR, obtiene el mejor tiempo de recuperación, lo que representa una oportunidad financiera para esta empresa que cuenta con diecisiete locaciones alrededor del territorio nacional. Razón por lo cual se le recomienda a la empresa la colocación de estos sistemas en sus diferentes centros de trabajo.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad alrededor del mundo existe un serio problema por el uso descontrolado de los combustibles fósiles, a saber, fuentes de energías que cada día se agotan y con precios cada vez más elevados según los países exportadores y las variaciones en el precio del dólar; además de esto, representan un contaminante para el planeta aumentando la producción de CO<sub>2</sub>.

Como resultado los países a nivel mundial están buscando fuentes de energía alternativas para reducir estas emisiones, entre ellos se encuentran los países europeos, asiáticos y los EE. UU todos estos, pioneros en la renovación de la forma de generación de la energía necesaria para hacer los trabajos cotidianos en los hogares, industrias y comercios. Costa Rica no puede quedarse atrás en estos temas, razón que motivó a trazar una meta de convertirse en un país con Carbono Neutral para el 2021.

La generación eléctrica del país se basa principalmente en el recurso hídrico, con diferentes plantas generadoras que producen grandes cantidades de MW de potencia como es el caso de Reventazón con 306.2 Mw esto da energía a unos 525000 hogares, pero esto tiene un costo para el país y las personas. A consecuencia de esto las personas han vuelto a mirar hacia otras fuentes de generación de corriente eléctrica como los sistemas fotovoltaicos.

El Sol es la principal fuente de energía. Toda forma de vida es gracias a él, además es un recurso inagotable, gratuito y de muy fácil manejo.

En el caso de Costa Rica tiene una excelente posición geográfica por lo tanto la radiación solar es alta y pueda ser aprovechada para producir energía, muchas empresas han hecho la instalación de estos sistemas para generar su propia corriente eléctrica como la Panasonic, Purdy Motor y Plaza Lincoln con un sistema de 2245 paneles solares los cuales

producen 325 kW, al impulsar a otras entidades para sumarse a estas iniciativas tal es el caso de las estaciones de Revisión técnica de vehículos.

Esta investigación busca la implementación de un sistema fotovoltaico a una estación de RTV, ya que la empresa en estos momentos no cuenta con un sistema capaz de generar su propio consumo de corriente eléctrica, también como plus se implementará un sistema de emergencia basado en celdas de combustible para los casos de cortes de fluido eléctrico, al mantener en funcionamiento la cargas críticas de la estación de RTV, con esto se buscará la reducción de sus gastos operativos por consumo de energía, minimizar la huella de carbono y mejorar la imagen de la empresa ante la sociedad.

La investigación busca calcular cuál es diseño más óptimo de un sistema fotovoltaico al tomar en cuenta la regulación de técnicas vigentes en el país reguladas por el ICE, Minae, Aresep y por el código eléctrico nacional. Esto se desarrollará calculando el número de paneles que se deben instalar para suplir la potencia necesaria, qué tipo de inversor es el necesario para la demanda, y cálculos de alimentadores, protecciones y puesta a tierra del sistema, adicionalmente cuál es la celda de combustible que mejor se adapte a las necesidades de energía. Por otra parte, lo más importante, se hará un análisis financiero que expondrá el costo de implementar un sistema de este tipo y el cálculo del retorno de la inversión realizada.

### **1.1.Problema**

¿Cuál es el mejor diseño electromecánico para la implementación de energías renovables, paneles solares y celda de combustible para la alimentación normal y de emergencia en la Estación de Revisión Técnica Vehicular ubicada en San Miguel de Santo Domingo de Heredia?

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema electromecánico de energías renovables, paneles solares y celda combustible para la alimentación normal y de emergencia para la estación de Revisión Técnica Vehicular ubicada en San Miguel de Santo Domingo de Heredia.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Calcular el número, tamaño y colocación de los paneles solares a instalar según la potencia máxima requerida, radiación que incide sobre la estación y dimensiones de la estructura.
2. Definir las características técnicas del sistema fotovoltaico y de emergencia que mejor cumplan con las Normas POASEN, MINAE y NEC NFPA 70.
3. Establecer cuáles son las cargas críticas en caso de falta de fluido eléctrico, para dimensionar el sistema de emergencia utilizando celdas de combustible.
4. Determinar las características técnicas y comerciales por medio de visitas y reuniones a diferentes proveedores y vendedores de paneles solares y celdas de combustible.
5. Calcular cuál es el retorno de la inversión al hacer el análisis financiero y comparándolo con los gastos de facturación del servicio eléctrico actual.

### **1.3. Justificación**

La empresa española-costarricense Riteve presta el servicio de la revisión técnica de vehículos desde hace 17 años, posee 18 estaciones a lo largo de todo el territorio nacional, de las cuales 5 se ubican en la gran área metropolitana, estas cuentan con una infraestructura amplia al poner a disposición del cliente 6 líneas para brindar el servicio. Esta investigación se enfoca principalmente en la estación de revisión técnica ubicada en San Miguel de Santo Domingo de Heredia, llamada San José Norte (SJM), tiene 16 años de prestar el servicio y no cuenta con un sistema de energía renovables, a pesar de tener los recursos, su infraestructura y ubicación geográfica.

Este tipo de estaciones tienen un alto consumo de energía pues tiene un horario de funcionamiento de 15 horas diarias, durante 6 días a la semana, y con equipos de alto consumo como motores eléctricos, computadoras, planta de tratamiento, bomba de agua e iluminación general, esto tiene una consecuencia de una alta facturación de corriente eléctrica alcanzando específicamente para la estación propuesta en promedio 700,000 colones mensuales.

Otro de los temas por tomar en cuenta es la utilización de un respaldo en momentos de faltante de corriente eléctrica, ya sea por una interrupción en el fluido eléctrico por diversos factores como fuertes vientos o intensas rayerías, esto ha ocasionado molestias en los clientes por no poder dar el servicio, generando pérdidas de dinero en la facturación, ya que deben parar labores por la falta de fluido eléctrico, con este respaldo se puede garantizar un trabajo continuo sin detener sus operaciones. La implementación de un sistema de paneles solares y celdas de combustible ayudaría a bajar la facturación mensual de corriente eléctrica, no crear molestias a sus clientes y además al mejorar la imagen de la empresa al utilizar energías renovables y en el cumplimiento de la responsabilidad social con el país.

## **1.4. Antecedentes**

### **1.4.1 Antecedente N°1.**

Título: Un aporte al debate sobre fuentes alternativas de energía en Costa Rica. El caso de la energía solar.

Autor: Jorge Monge Zeledón.

Institución: Universidad de Costa Rica

Fecha: setiembre 2016.

Esta investigación realizada por Jorge Monge Zeledón de la UCR, enumera temas importantes por tomar en cuenta a la hora de hacer la recolección de información de la implementación de las energías renovables en Costa Rica, por su parte inicia con un enfoque del contexto nacional para el uso de este tipo energías, al ser este país un ejemplo de vocación verde y enfocado a ser un país con Carbono Neutral. Este país posee instituciones las cuales velan por el cuidado de los recursos naturales, tal es el caso del FONAFIFO y la Estrategia Nacional Cambio Climático (ENCC) aprobada en 2007.

Costa Rica está conformado por varios entes que brindan el servicio eléctrico, siendo el ICE el más antiguo creado en 1949 y haciéndose cargo de toda la producción y distribución de energía eléctrica basándose ésta en fuentes hidroeléctricas. En estos momentos existen otros distribuidores de energía eléctrica tales como: Coopeguanacaste, Coopelesca, Coopesantos, CNFL, JASEC entre otras. Todas las tarifas de consumos residenciales y comerciales están reguladas por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP).

Con respecto a la energía fotovoltaica en Costa Rica se hace un resumen cronológico de su evolución e implementación, consecuentemente en el 2012 Costa Rica inaugura en su momento el parque solar más grande de Centroamérica, ubicado en Miravalles el cual genera 1 MW.

También se da un vistazo al ámbito internacional, a saber, los EE. UU. tiene una alta producción de energía eléctrica por medio de paneles solares, seguido de Japón y de los países europeos. Esos sí, los países europeos han tenido mayor crecimiento actual en la capacidad de producción de sus plantas generadoras.

Esta investigación ayuda a tener un panorama más claro de cómo Costa Rica ha hecho intentos al crear instituciones y proyectos de ley para la utilización de fuentes de energía limpias, para reducir la huella de carbono, esto con el fin de estar en consonancia con los países europeos, asiáticos y los EE. UU.

### **1.4.2. Antecedente N°2.**

Título: Celdas de combustible

Autor: Maribell C Fernández Valecillos

Institución: Universidad de los Andes

Fecha: marzo 2009

Esta tesis de graduación realizada por Maribell Fernández Valecillos de la Universidad de los Andes, Colombia tiene como finalidad hacer un estudio de las nuevas tecnologías utilizadas para reducir el consumo de energías no renovables, hoy se utilizan en gran medida los combustibles fósiles para realizar todos los trabajos de la vida cotidiana. La autora de la investigación realiza un estudio de las celdas de combustible existentes, la clasificación y las principales características de ellas, también toma en cuenta las diferentes variables como la presión, temperatura de operación y eficiencia.

Se hace una breve reseña histórica de su invención por parte del físico William Grove en 1842, la cual utilizaba hidrógeno y oxígeno. Se explica en forma general el funcionamiento de las celdas de combustible basados en las leyes de la termodinámica, la energía de Gibbs y las ecuaciones de Nerst.

Se hace una descripción muy detallada de las reacciones químicas producidas en las diferentes celdas de combustible que se pueden encontrar en el mercado. Y muestra cuál es el rendimiento de una celda de combustible al tomar en cuenta:

- Las pérdidas por activación
- Pérdidas óhmicas
- Pérdidas por transporte de gas.

La clasificación de las celdas de combustible está dada por el tipo de electrolito utilizado, actualmente se encuentran 6 tipos que son:

1. Celda de combustible alcalina (AFC)
2. Celda de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC)
3. Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC)
4. Celda de combustible de carbonato fundido (MFC)
5. Celda de combustible de óxido sólido (SOFC)
6. Celda de combustible de metanol directo (DMFC)

La investigación da un gran aporte y brinda mucha información del desarrollo de las celdas de combustible, desde su invención, su desarrollo. También da una amplia explicación de sus características, su funcionamiento y ventajas al utilizarlas.

<i>Tipo</i>	<i>Reacción de ánodo</i>	<i>Reacción del cátodo</i>
<i>PEMFC y PAFC</i>	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
<i>AFC</i>	$H_2 + 2(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	$\frac{1}{2}O_2 + 2H_2 + 2e^- \rightarrow 2(OH)^- a$
<i>MCFC</i>	$H_2 + CO_3^- \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ $CO + CO_3^- \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$	$\frac{1}{2}O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^-$
<i>SOFC</i>	$H_2 + O^- \rightarrow CO_2 + 2e^-$ $CO + CO^- \rightarrow CO_2 + 2e^-$ $CH_4 + 4O^- \rightarrow 2H_2O + CO_2 + 8e^-$	$\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow O^-$
<i>MDFC<sup>(*)</sup></i>	$CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

CO: Monóxido de carbono      e<sup>-</sup> : Electrón      H<sub>2</sub>O : Agua  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono      H<sup>+</sup> : Ion hidrógeno      O<sub>2</sub>: Oxígeno  
CO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Ion carbonato      H<sub>2</sub> : Hidrógeno      OH<sup>-</sup> : Ion hidróxilo  
(\*): (Facendo A, 2007)

*Reacciones electroquímicas de las celdas de combustible*

*Fuente: Fuel Cell Handbook, 2004*

	<b>AFC</b>	<b>PEMFC</b>	<b>DMFC</b>	<b>PAFC</b>	<b>MCFC</b>	<b>SOFC</b>
<b>Electrolito</b>	<i>KHO</i>	<i>Membrana de intercambio protónico</i>	<i>Membrana de intercambio protónico</i>	<i>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>	<i>Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> / K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	<i>ZrO<sub>2</sub>/ Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
<b>Temperatura</b>	<i>65-220°C</i>	<i>80°C</i>	<i>80°C</i>	<i>205°C</i>	<i>650°C</i>	<i>600-1000°C</i>
<b>Conductor iónico</b>	<i>OH</i>	<i>H<sup>+</sup></i>	<i>H<sup>+</sup></i>	<i>H<sup>+</sup></i>	<i>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></i>	<i>O<sup>-</sup></i>
<b>Tiempo de encendido (h)</b>	<i>&lt;0.1</i>	<i>&lt;0.1</i>	<i>&lt;0.1</i>	<i>1-4</i>	<i>5-10</i>	<i>-</i>
<b>Densidad de potencia(mW/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>620</i>	<i>420</i>	<i>-</i>	<i>250(8atm)</i>	<i>&gt;150</i>	<i>120</i>
<b>Eficiencia(% PCS)</b>	<i>&gt;50</i>	<i>32-45</i>	<i>30-40</i>	<i>36-45</i>	<i>43-55</i>	<i>43-55</i>
<b>Rango de potencia</b>	<i>5-150kW</i>	<i>5-250kW</i>	<i>5kW</i>	<i>50kW-11Mw</i>	<i>100kW-2Mw</i>	<i>100-250kW</i>
<b>Aplicaciones</b>	<i>Transporte, vehículos espaciales, aplicaciones militares, sistema de almacenamiento de energía</i>			<i>Sistemas estacionarios de generación distribuida de potencia eléctrica y calor</i>		

*Características principales de las celdas de Combustible*

Fuente: Fuel Cell Handbook, 2004

### 1.4.3. Antecedente N°3.

Título: Cálculo y selección de un sistema fotovoltaico en una casa de habitación con local comercial.

Autor: Domínguez Morales Juan Luis

Rojo Reyes Andrés

Sierra Velázquez David

Institución: Instituto Politécnico Nacional, México

Fecha: noviembre 2015

Esta investigación fue realizada en México específicamente en el municipio de Cuauhtepc de Hinojosa Hidalgo, la instalación va a ser realizada para una casa de habitación y un local comercial. De esta investigación se toman algunos temas y datos de importantes de utilidad, por ejemplo, cómo se debe de seleccionar un sistema fotovoltaico y realizar el análisis financiero del proyecto.

#### **Análisis de cargas instaladas.**

- Potencia de las cargas y aparatos
- Tiempo de uso diario.
- Tipo de elementos instalados en el sistema eléctrico.

#### **Calcular las horas pico solar.**

Se utiliza la fórmula: 
$$HPS = \frac{Irradiacion}{Irradancia} . (1)$$

Donde: Irradiancia= magnitud de la intensidad de iluminación solar por unidad de superficie.

Irradiación: cantidad de irradiancia en un lapso.

### **Separación entre paneles solares.**

La separación permite la mejor captación de la radiación y evitar las sombras entre los paneles.

### **Determinación del número de paneles.**

$$N_{TP} = \frac{C_{Mcritico}}{P_P HPS_{criticos} FP} \quad (2)$$

En esta investigación se tomarán en cuenta muchos datos importantes, pero en la presente investigación se incluirán algunas otras variables para el cálculo del retorno de la inversión de capital, a saber: se debe especificar cuál es el valor futuro del dinero, la variación en la facturación anual según las fluctuaciones de consumos, la vida útil de los paneles solares, ya que el tipo de clima presente en la región que se van a instalar podría diferir al de esta investigación.

Por otra parte, el retorno de capital de 7 años obtenido en esta investigación podría ser diferente. En las siguientes tablas se brindan los datos importantes tales como el pago anual por servicio eléctrico, los materiales eléctricos por utilizar, la cotización de los paneles solares de marca SolarCity ERDM 250 TP/6 y, finalmente, la tabla de la recuperación de la inversión en años.

### Pago de consumo anual.

De la siguiente tabla se muestran los montos de facturación anual. Todos los montos en pesos mexicanos.

Mes	Cargo primeros 75 kWh	Cargo siguientes 65 kWh	Cargo kWh adicional	Cargo fijo	Cargo total por mes	IVA 16%	Cargo total con IVA
Enero	\$109.30	\$132.00	1395.641398	\$53.27	\$1,690.21	\$270.43	\$1,960.65
Febrero	\$108.00	\$130.45	1322.577506	\$54.06	\$1,615.09	\$258.41	\$1,873.50
Marzo	\$105.15	\$127.00	1538.233645	\$54.31	\$1,824.69	\$291.95	\$2,116.64
Abril	\$102.65	\$123.95	1691.81376	\$54.55	\$1,972.96	\$315.67	\$2,288.64
Mayo	\$102.10	\$123.30	1419.729248	\$54.89	\$1,700.02	\$272.00	\$1,972.02
Junio	\$101.05	\$122.00	1237.006848	\$55.08	\$1,515.14	\$242.42	\$1,757.56
Julio	\$100.85	\$121.75	1374.632904	\$55.26	\$1,652.49	\$264.40	\$1,916.89
Agosto	\$101.50	\$122.50	1442.70288	\$55.53	\$1,722.23	\$275.56	\$1,997.79
Septiembre	\$105.45	\$112.25	1404.86008	\$56.02	\$1,678.58	\$268.57	\$1,947.15
Octubre	\$104.20	\$125.75	1404.87594	\$56.74	\$1,691.57	\$270.65	\$1,962.22
Noviembre	\$101.75	\$122.80	1288.835328	\$56.97	\$1,570.36	\$251.26	\$1,821.61
Diciembre	\$97.65	\$117.85	1152.328374	\$56.96	\$1,424.79	\$227.97	\$1,652.75
Cago total anual							\$23,267.43

*Tabla 3. Pago de consumo eléctrico anual*

En la siguiente tabla se muestran los materiales para la instalación eléctrica que se utilizarán en la elaboración del proyecto

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$ M.N.	SUBTOTAL \$ M.N.
1	Cable viakon calibre 14 AWG	80	Metros	\$4. <sup>50</sup>	\$360. <sup>00</sup>
2	Cable viakon calibre 12 AWG	160	Metros	\$6. <sup>50</sup>	\$1040. <sup>00</sup>
3	Cable viakon calibre 10 AWG	160	Metros	\$9. <sup>80</sup>	\$1568. <sup>00</sup>
4	Cable Indiana calibre 8 AWG	30	Metros	\$13. <sup>70</sup>	\$411. <sup>00</sup>
5	Lámpara led 19 [W]	11	Piezas	\$270. <sup>00</sup>	\$2970. <sup>00</sup>
6	Foco ahorrador Philips 10[W]	7	Piezas	\$59. <sup>00</sup>	\$413. <sup>00</sup>
7	Socket	7	Piezas	\$12. <sup>00</sup>	\$84. <sup>00</sup>
8	Centro de carga Square d QOX2-8 2+8	1	Piezas	\$639. <sup>00</sup>	\$639. <sup>00</sup>
9	Centro de carga Square d QOX2-4 4	1	Piezas	\$396. <sup>00</sup>	\$396. <sup>00</sup>
10	Interruptor de transferencia automático	2	Piezas	\$2550. <sup>00</sup>	\$5100. <sup>00</sup>

11	ITM 1X20 Schneider	5	Piezas	\$83. <sup>00</sup>	\$415. <sup>00</sup>
12	ITM 1X30 Schneider	8	Piezas	\$83. <sup>00</sup>	\$664. <sup>00</sup>
13	Contactos dúplex Leviton	13	Piezas	\$40. <sup>00</sup>	\$520. <sup>00</sup>
14	Contactos dúplex con apagador s/tierra	10	Piezas	\$83. <sup>00</sup>	\$830. <sup>00</sup>
15	Conector varilla cobre	1	Piezas	\$4. <sup>00</sup>	\$4. <sup>00</sup>
16	Varilla tierra Total Ground	1	Piezas	\$780. <sup>00</sup>	\$780. <sup>00</sup>
17	Tubo conduit 3m PVC Durman ½"	10	Piezas	\$10. <sup>00</sup>	\$100. <sup>00</sup>
18	Tubo conduit 3m PVC Durman ¾"	4	Piezas	\$13. <sup>00</sup>	\$52. <sup>00</sup>
19	Codo conduit ½"	2	Piezas	\$5. <sup>00</sup>	\$10. <sup>00</sup>
20	Codo conduit ¾"	10	Piezas	\$2. <sup>00</sup>	\$20. <sup>00</sup>
21	Conector conduit ½"	3	Piezas	\$2. <sup>00</sup>	\$6. <sup>00</sup>
22	Conector conduit ¾"	8	Piezas	\$4. <sup>00</sup>	\$32. <sup>00</sup>
23	Chalupa PVC	10	Piezas	\$8. <sup>00</sup>	\$80. <sup>00</sup>
24	Caja cuadrada PVC	20	Piezas	\$11. <sup>00</sup>	\$220. <sup>00</sup>
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$11614.<sup>00</sup></b>
<b>I.V.A. (16%)</b>					<b>\$1858.<sup>24</sup></b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$18572.<sup>24</sup></b>

Tabla 4. Tabla de cotizaciones fijas para el proyecto.

Tabla de cotización SolarCity ERDM 250 TP/6

Equipos	Cantidad	unidad	precio unitario	Total
SolarCity ERDM 250TP/6	16	pzas	\$3,685.98	\$58,975.68
Inversor Fronius IG 2000	2	pza	\$20,139.20	\$40,278.40
Subtotal				\$99,254.08
IVA 16%				\$15,880.65
Materiales fijos				\$18,572
Total				\$133,706.73

Tabla 5. Cotización SolarCity ERDM 240 TP/6

Para la instalación del sistema los autores consideraron que un trabajador trabaja 5 días para la instalación recibirá una paga de \$13265,47.

Una vez determinado todos los costos del proyecto, los autores utilizaron la siguiente fórmula, aunque el cálculo no toma en cuenta muchos factores haciendo que el resultado sea muy simple.

$$\text{Inversión} = \text{CTM} + \text{PTMO} + \text{PP} \quad (3)$$

CTM: costo total de materiales

PTMO: Pago total de mano de obra

PP: Pago del proyecto

Inversión total: \$167028.21

### Determinación del tiempo de recuperación.

Mes	Total con IVA CS240	Total con IVA CS245	Total con IVA CS250
Enero	\$1,882.40	\$1,921.52	\$1,960.65
Febrero	\$1,798.80	\$1,836.15	\$1,873.50
Marzo	\$2,032.29	\$2,074.47	\$2,116.64
Abril	\$2,197.47	\$2,243.05	\$2,288.64
Mayo	\$1,893.54	\$1,932.78	\$1,972.02
Junio	\$1,687.69	\$1,722.62	\$1,757.56
Julio	\$1,840.66	\$1,878.78	\$1,916.89
Agosto	\$1,918.32	\$1,958.06	\$1,997.79
Septiembre	\$1,868.96	\$1,908.05	\$1,947.15
Octubre	\$1,884.17	\$1,923.19	\$1,962.22
Noviembre	\$1,749.25	\$1,785.43	\$1,821.61
Diciembre	\$1,587.24	\$1,620.00	\$1,652.75
Total por año	\$22,340.80	\$22,804.11	\$23,267.43

*Tabla 6. Ganancias de generación por panel propuesto*

Según las especificaciones del fabricante cada panel tiene una vida útil de 25 años.

La inversión se ve recuperada en los años marcados en la tabla:

### Recuperación de la inversión.

Años	SC240	SC245	SC250
1	\$22,340.80	\$22,804.11	\$23,267.43
2	\$44,681.60	\$45,608.22	\$46,534.86
3	\$67,022.40	\$68,412.33	\$69,802.29
4	\$89,363.20	\$91,216.44	\$93,069.72
5	\$111,704.00	\$114,020.55	\$116,337.15
6	\$134,044.80	\$136,824.66	\$139,604.58
7	\$156,385.60	\$159,628.77	\$162,872.01
8	<b>\$178,726.40</b>	<b>\$182,432.88</b>	<b>\$186,139.44</b>
9	\$201,067.20	\$205,236.99	\$23,267.43
10	\$223,408.00	\$228,041.10	\$232,674.30
11	\$245,748.80	\$250,845.21	\$23,267.43
12	\$268,089.60	\$273,649.32	\$279,209.16
13	\$290,430.40	\$296,453.43	\$23,267.43
14	\$312,771.20	\$319,257.54	\$325,744.02
15	\$335,112.00	\$342,061.65	\$349,011.45
16	\$357,452.80	\$364,865.76	\$372,278.88
17	\$379,793.60	\$387,669.87	\$395,546.31
18	\$402,134.40	\$410,473.98	\$418,813.74
19	\$424,475.20	\$433,278.09	\$442,081.17
20	\$446,816.00	\$456,082.20	\$465,348.60
21	\$469,156.80	\$478,886.31	\$488,616.03
22	\$491,497.60	\$501,690.42	\$511,883.46
23	\$513,838.40	\$524,494.53	\$535,150.89
24	\$536,179.20	\$547,298.64	\$558,418.32
25	\$558,520.00	\$570,102.75	\$581,685.75

Tabla 7. Recuperación de la inversión

### Amortización del sistema fotovoltaico.

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro generado anual}} \quad (4)$$

$$\text{Amortización} = \frac{167028.21}{23267.43} = 7.1 \text{ años}$$

### **1.5.Proyecciones**

Después de la realización de la investigación se tiene proyectado entregar un CD con toda la memoria de cálculo del sistema: número de paneles solares, posición, ubicación, tipo de inversor, alimentadores, protecciones y sistema de puesta a tierra, tipo de celda de combustible que mejor se adapta al sistema. Los planos electromecánicos y el análisis financiero del proyecto.

### **1.6.Limitaciones**

- Para la medición de las cargas en los equipos no se puede detener las funciones operativas de la estación, para no ocasionar atrasos en los tiempos de revisión.
- La falta de acceso a la información administrativa de la empresa Riteve como los montos de pago de recibo eléctrico, esto por cuestiones de confidencialidad de datos, es una limitante para el trabajo de investigación.
- La falta de colaboración por parte de los diferentes proveedores de sistemas fotovoltaicos a brindar información.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Antes de iniciar con el diseño de la implementación de un sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta ciertos conceptos muy importantes de conocer. El estudio inicia al determinar cómo se utiliza el Sol a manera de fuente de energía por el momento ilimitada y como se le puede dar un manejo correcto de su radiación, aunque esta no se dé de forma directa. Después se definirá como está constituido un sistema fotovoltaico, es decir: los paneles solares, el regulador, el inversor DC/AC y los acumuladores. Seguidamente se conocerá el funcionamiento y constitución de un sistema de respaldo basado en celdas de combustibles.

### 2.1. El Sol como fuente de energía

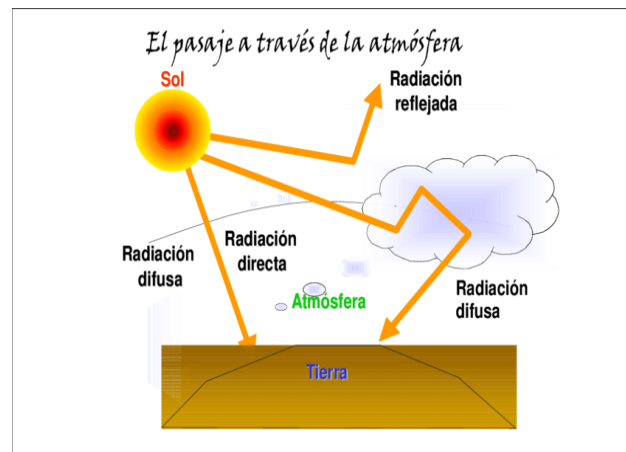
El Sol es la estrella que da la energía, luz y calor, es una fuente inagotable de energía y lo mejor de todo sin ningún costo, por esta razón siempre se ha buscado la manera de sacar provecho de esto para dejar de lado los combustibles caros, no renovables y contaminantes.

Emplear el Sol como fuente de energía ha dejado de ser un reto del hombre para convertirse en una realidad. Hoy en día existen viviendas totalmente autónomas que emplean medios como energía fotovoltaica para generar electricidad o la energía térmica para calentar agua. (González, 2013, pág. 7)

Al tener cuenta esto se entiende que la generación de corriente eléctrica tal y como es conocida, en su mayor parte creada desde energías fósiles o de fuentes que se sabe hoy no son renovables como el agua están pronto a ser sustituidas por la energía solar mediante la utilización radiación proveniente de él.

“La radiación es la transferencia de energía por medio de ondas electromagnéticas. Las ondas pueden desplazarse a través del universo sin la necesidad de un medio de propagación, de esta manera la Tierra es alcanzada por la radiación que emite el Sol”. (González, 2013, pág. 10).

Esta radiación es sentida por todos diariamente en algunos momentos con más intensidad, ya que esta radiación depende mucho de varios factores como: la ubicación geográfica del lugar, el clima: verano, invierno, la nubosidad, entre otros. Como se observa en la siguiente figura existen tres tipos principales de radiación la directa, difusa y la reflejada.



*Figura 1. Pasaje de la radiación solar a través de la atmósfera.*

Fuente: (ResearchGate, 2017)

## 2.2. La constante Solar

Para medir esta radiación sobre una superficie se creó la constante solar que es definida por:

La constante solar es el valor de la radiación solar que incide sobre una superficie o área de  $1m^2$  medido desde la capa más externa de la atmosfera. Si se considera la distancia media entre el Sol y la Tierra, esta constante adquiere un valor aproximado de 1.366 vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ )(...). Una gran parte de la energía que incide sobre el borde exterior de la atmosfera es reflejada, produciendo una reducción de aproximadamente un 30% de la energía entrante en la atmosfera. Esta cantidad de energía reflejada puede variar en función del instante en el que se toma, ya que fenómenos como la formación de nubes aumenta el porcentaje de reflexión de energía. (González, 2013, págs. 11-13)

La radiación global recibida en cualquier localidad tiene una componente directa y una difusa. La radiación que incide sobre una superficie directamente del Sol, sin sufrir cambios de dirección, se conoce como radiación directa, mientras tanto aquella que llega después de ser reflejada o incluso la radiación infrarroja emitida por las moléculas después de sufrir un calentamiento por efecto de absorción de radiación solar, se conoce como radiación difusa. (GIlmore, 2006)

## 2.3. Energía Solar en Costa Rica

Según un estudio realizado por el ICE del estudio del potencial solar destaco que:

Costa Rica está ubicada en la parte Tropical del hemisferio norte entre  $8^{\circ} 15' - 11^{\circ} 00' N$  y  $83^{\circ} 30' - 86^{\circ} 00' W$ , de esta manera forma parte del Istmo Centroamericano y esta bordeado por el Mar Caribe por el Este y el Océano Pacífico por el Oeste. Por lo tanto, tiene un clima tropical. Los trópicos son en general conocidos por ser calientes y húmedos. El país por ser montañoso tiene una variabilidad climática, especialmente en la nubosidad asociada con la

precipitación, la humedad y la temperatura. La complicada estructura topográfica del país que consiste en tierras bajas, altas montañas, mesetas y valles afecta el clima de varias regiones. (Gilmore, 2006, págs. 15-16).

El país se divide en cinco zonas geográficas, las cuales son:

1. La Zona Norte.
2. La Zona Atlántica.
3. La Zona del Pacífico seco.
4. La Zona del Valle Central.
5. La Zona del Pacífico Sur. (Gilmore, 2006, págs. 15-16)

Y por medio de un mapeo de radiación solar se utilizaron 80 estaciones del ICE y IMN dispersas por todo el país las cuales operan con heliógrafos y actinógrafos. Se todos estos estudios se pueden ubicar la zona geográfica del país para obtener la radiación global/ día.

Como se puede ver en la figura 2 el lugar en donde se encuentra la estación sujeta a la investigación es San Miguel de Santo Domingo de Heredia y tiene una Radiación global de  $15.0 \text{ MJ}/\text{m}^2 \text{ día}$ .

Distrito	Cantón	Provincia	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Longitud (W)	Latitud (N)	Radiación global (MJ/m <sup>2</sup> .día)	Potencial (EJ/año)
MERCEDES	HEREDIA	HEREDIA	20496	4,25	-84,13507	10,00751	18,0	0,028
LLORENTE	FLORES	HEREDIA	6211	1,89	-84,16221	9,99862	18,0	0,012
SAN JOAQUIN	FLORES	HEREDIA	348	2,71	-84,15582	10,00739	18,0	0,018
HEREDIA	HEREDIA	HEREDIA	6823	2,99	-84,11825	9,99941	17,0	0,019
SAN FRANCISCO	HEREDIA	HEREDIA	12855	6,39	-84,11705	9,98707	16,0	0,037
CONCEPCION	SAN ISIDRO	HEREDIA	2456	7,98	-84,04147	10,04324	16,2	0,047
ANGELES	SAN RAFAEL	HEREDIA	7329	21,17	-84,09029	10,07139	16,0	0,124
CONCEPCION	SAN RAFAEL	HEREDIA	4699	22,76	-84,07125	10,04652	15,0	0,125
TURES	SANTO DOMINGO	HEREDIA	2933	3,85	-84,05857	9,99326	15,0	0,021
SANTO TOMAS	SANTO DOMINGO	HEREDIA	5603	3,51	-84,07760	9,97980	15,0	0,019
SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	HEREDIA	5263	0,79	-84,09251	9,98086	15,0	0,004
SAN VICENTE	SANTO DOMINGO	HEREDIA	5368	2,86	-84,08238	9,99197	15,0	0,016
SAN PABLO	SAN PABLO	HEREDIA	22208	8,33	-84,09573	9,99315	15,0	0,046
SANTIAGO	SAN RAFAEL	HEREDIA	7535	1,52	-84,10192	10,00708	17,5	0,010
SAN MIGUEL	SANTO DOMINGO	HEREDIA	6167	5,89	-84,05945	9,98454	15,0	0,032
PARACITO	SANTO DOMINGO	HEREDIA	1617	1,16	-84,03057	10,00309	15,0	0,006
PARA	SANTO DOMINGO	HEREDIA	2851	2,80	-84,03777	10,00549	15,0	0,015
SAN JOSE	SAN ISIDRO	HEREDIA	5630	11,39	-84,02253	10,03368	16,0	0,067
SANTA ROSA	SANTO DOMINGO	HEREDIA	6731	4,26	-84,10108	9,97422	17,0	0,026
ULLOA	HEREDIA	HEREDIA	6359	11,54	-84,13774	9,97668	16,0	0,067
SAN FRANCISCO	SAN ISIDRO	HEREDIA	4187	4,56	-84,06764	10,01130	15,5	0,026
SAN ISIDRO	SAN ISIDRO	HEREDIA	4974	2,65	-84,05516	10,01456	15,5	0,015

Figura 2. Valores diarios medios anuales de la radiación solar global y el potencial por distrito en Costa Rica.

Fuente: (Gilmore, 2006)

Es muy importante para el cálculo de un sistema fotovoltaico conocer cuál es el valor de horas solar pico (HSP) que incide sobre la zona geográfica del lugar elegido. Para obtener este dato se utilizan las siguientes fórmulas:

$$HSP = \frac{\text{Irradiación Promedio}}{1000 \text{ w/m}^2} \quad (5)$$

$$HSP = \frac{\text{Irradiación Promedio}}{3,6 \text{ MJ/m}^2} \quad (6)$$

## 2.4. Sistemas Fotovoltaicos

La energía solar fotovoltaica se define como la tecnología utilizada para el aprovechamiento eléctrico de la energía del Sol, a partir de las denominadas células fotovoltaicas. Mediante esta célula, la radiación solar se transforma directamente en electricidad, al aprovechar las propiedades de los materiales semiconductores (Pérez, 2017, pág. 9)

Este tipo de energía fue descubierta por el francés Edmund Becquerel en 1839, cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora, y apreció un aumento de la generación eléctrica con la luz. En 1873, Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio, y en 1877 W.G. Adams y R.E. Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio. (Rújula, 2009, pág. 13)

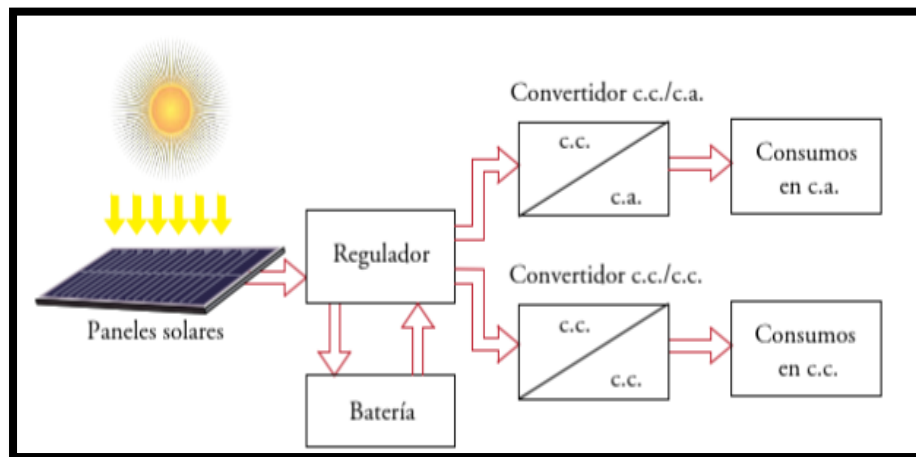
La transformación directa de la energía solar en electricidad mediante la conversión fotovoltaica presenta como ventajas claras su sencillez, fiabilidad y operatividad (...) Otra de las propiedades de los sistemas fotovoltaicos es modularidad, al existir aplicaciones desde mili vatios hasta decenas de megavatios de potencia. La vida útil de las instalaciones fotovoltaicas es elevada. No hay partes móviles y el mantenimiento requerido para conservar la instalación en perfectas condiciones es reducido. En particular, la vida esperada de los módulos es de más 40 años(...) El principal inconveniente es su elevado costo, que hace que, de momento, la participación actual de la energía fotovoltaica en el balance energético sea aún reducida. Su costo es hoy en día más elevado con respecto a las alternativas convencionales (...) (Rújula, 2009, págs. 14-15)

## 2.5. Elementos de un sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un sistema que toma esa radiación del Sol y es capaz de transformar esa energía en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos son un conjunto de elementos interconectados entre sí con el fin de proporcionar energía eléctrica a unas determinadas cargas, entendiéndose como cargas los elementos de iluminación, equipos de comunicación, etc. Suelen tener los siguientes elementos: generador, acumulador y carga.

Aquí se presentan los dos tipos de esquemas de sistemas fotovoltaicos autónomos según sea el carácter de las cargas la figura 3 ejemplifica la conexión típica cuando las cargas necesitan corriente CC y la conexión cuando las cargas necesitan corriente AC es la conexión más utilizada, ya que casi la mayoría de electrodomésticos y motores funcionan con este tipo de corriente. (Gómez, 2009, págs. 29-30-31)



*Figura 3 Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada*

Fuente: (Tobajas, 2018)

## **2.6.El Panel Solar o módulo fotovoltaico**

La capacidad de generación habitual de una célula solar viene a ser de 2 voltios y 100 mA. Los fabricantes agrupan eléctricamente las células solares asociándolas en paralelo o en serie y las encapsulan en un único dispositivo llamado “panel solar o módulo fotovoltaico”, que constituye el elemento básico con el que se construyen los generadores fotovoltaicos. El panel solar o modulo fotovoltaico proporciona unos determinados niveles de voltaje y corriente dependiendo del tipo y número de células conectadas y del tipo de conexión.

El panel solar protege a las células frente a las agresiones de los agentes de la intemperie, las aísla eléctricamente del exterior y da rigidez mecánica al conjunto. El tiempo de vida de los módulos, en condiciones normales de operación, debe ser superior a 20 años y es determinado por la duración del encapsulado, el cual debe ser impermeable al agua además de resistir la fatiga térmica y la abrasión. El mercado ofrece diferentes tipos de módulos. Los más característicos están constituidos por células solares de silicio cristalino, todas de igual tamaño, asociadas en serie/paralelo y encapsuladas en una lámina de vidrio. De la unión de estas células se obtiene el panel fotovoltaico que tiene el siguiente aspecto: (Fco.J. Gimeno Sales, 2002, pág. 28)



Figura 4 Panel Solar Fuente: (Fco.J. Gimeno Sales, 2002)

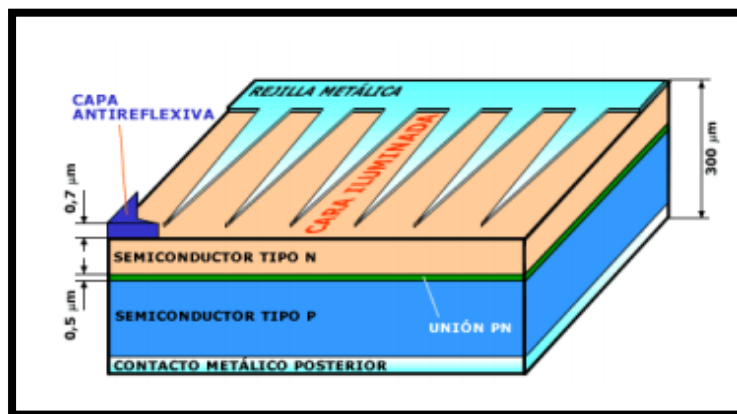


Figura 5. Estructura interna de un panel solar. Fuente: (La célula solar fotovoltaica, s.f.)

La asociación de las células solares equivale a una asociación similar a las baterías, por lo tanto, queda de la forma:

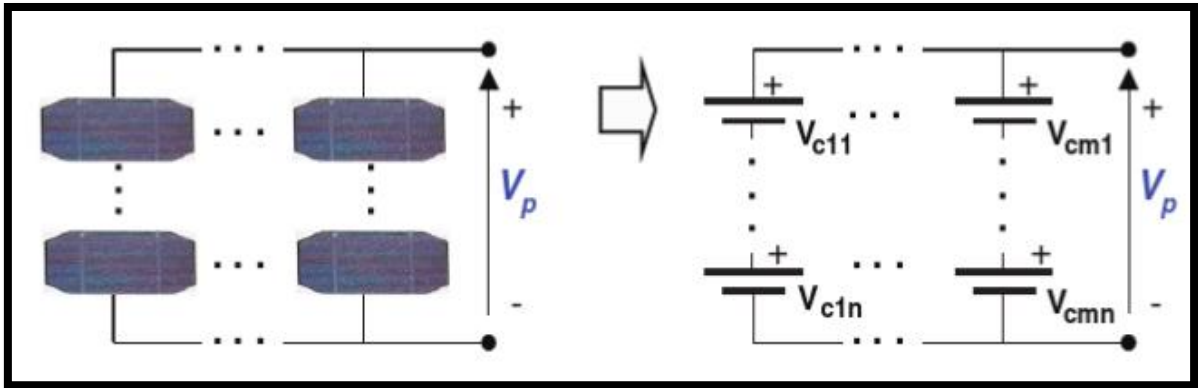


Figura 6 Circuito equivalente de paneles solares. Fuente: (Fco.J. Gimeno Sales, 2002)

El circuito equivalente del generador o panel fotovoltaico es el de la figura:

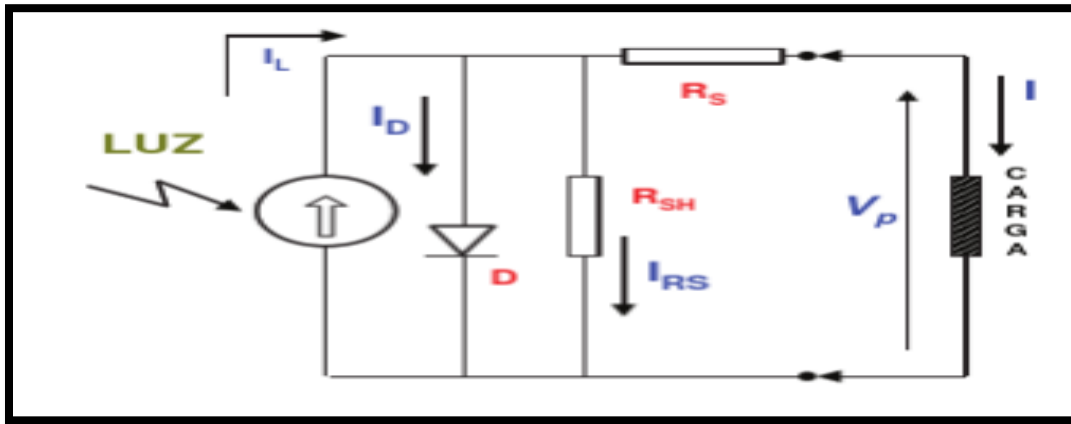


Figura 7 Circuito equivalente del generador. Fuente: (Fco.J. Gimeno Sales, 2002)

Se puede entender que la corriente entregada en la carga es la resta entre la corriente constante generada por la célula fotovoltaica  $I_L$  y la que circula por el diodo en antiparalelo  $I_d$  que se rige por una expresión exponencial creciente. Cuando en la salida de la célula se produce un cortocircuito ( $V=0$ ), con un nivel de radiación normal, la resistencia serie tiene un efecto despreciable y la corriente de cortocircuito se puede considerar igual a la fotocorriente  $I_L$  que es proporcional a la radiación  $E_c$  ( $W/m^2$ ). En la condición de circuito abierto en la salida, la tensión de circuito abierto  $V_{OC}$  corresponde a la tensión en extremos de la unión p-n cuando ésta se ve atravesada por la fotocorriente  $I_L$ .

La tensión de circuito abierto aumenta logarítmicamente cuando aumenta el nivel de radiación y disminuye linealmente con los incrementos de temperatura. La curva característica de un panel solar viene representada por la siguiente gráfica. (Fco.J. Gimeno Sales, 2002, págs. 29-30)

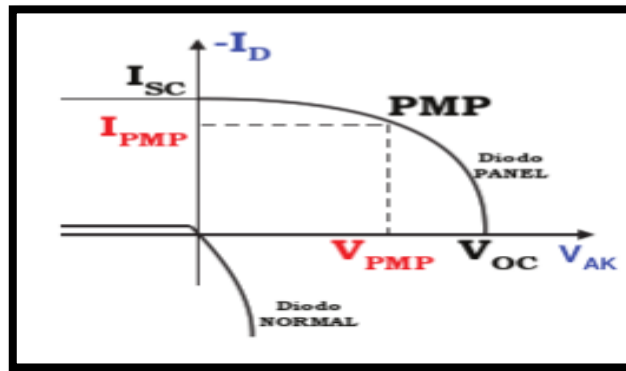


Figura 8 La curva característica de un panel solar. Fuente: (Fco.J. Gimeno Sales, 2002)

## 2.7. Tipos de paneles solares

En el mercado mundial existen diferentes tipos de generadores fotovoltaicos los cuales dependen de material de construcción. Los tipos de paneles que actualmente están en el mercado son:

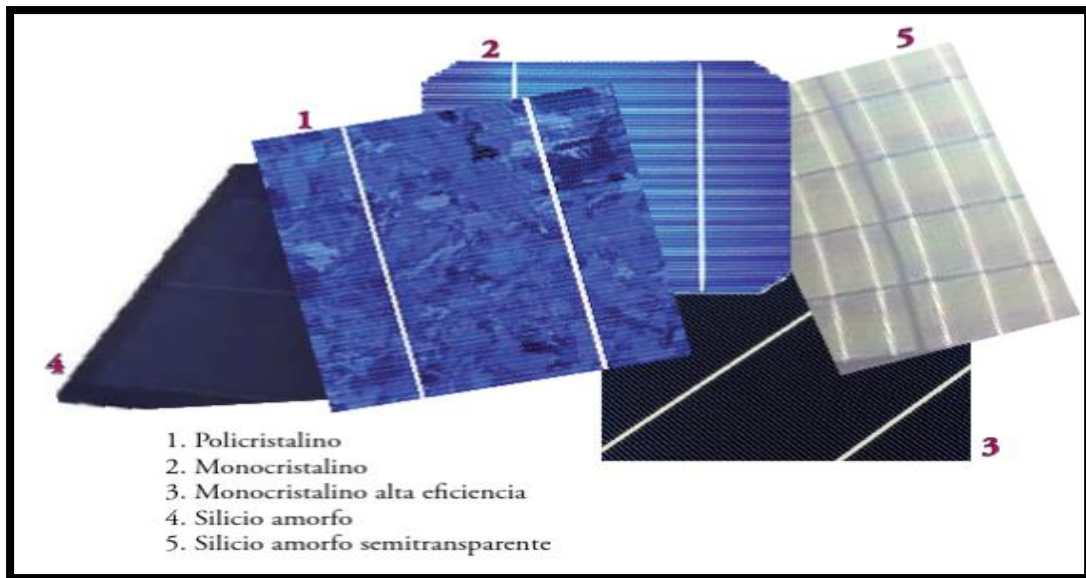
### 2.7.1. Paneles solares mono cristalinos: proporcionan el rendimiento más elevado,

alrededor del 20% en la fabricación en serie y un 24% en modelos de laboratorio. Se obtienen de silicio puro fundido y dopado con boro, su inconveniente es que tienen un precio medio alto. Por su rentabilidad energética son las placas más utilizadas.

### 2.7.2. Paneles solares policristalinos: proporcionan un rendimiento entre 12 y 14 %,

tienen un espesor reducido de varias micras. Se diferencian de los paneles mono cristalinos, pues son de forma cuadrada, en otras palabras se aprovecha mejor el espacio entre las células que componen el panel solar, también se tendrá en cuenta que el coste por panel es menor, ya que se aplica menos silicio en su fabricación y su proceso es menos complicado.

- 2.7.3. Paneles solares amorfos:** proporcionan un rendimiento inferior al 10%, tienen como ventaja su maleabilidad. Actualmente se instalan en tejados y superficies de edificios en donde se aplica en tamaños considerables por su adaptabilidad. Ser extremadamente delgados y económicamente rentables hace que tengan un futuro muy prometedor.
- 2.7.4. Paneles solares de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobres:** tienen como ventaja que su proceso de fabricación es fácil porque utiliza poco material activo.
- 2.7.5. Paneles solares de arsénico de galio:** son los más indicados para la fabricación de paneles, ya que su rendimiento teórico alcanza límites cercanos al 27-28% en su versión mono-cristalina. Pero presentan el inconveniente de la escasez de material (...)
- 2.7.6. Paneles solares de di seleniuro de cobre en indio:** tiene unos rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.
- 2.7.7. Paneles solares de telurio de cadmio:** su rendimiento en laboratorio es del 16% y en módulos comerciales del 8%.
- 2.7.8. Paneles solares híbridos:** combinación entre panel solar fotovoltaico y panel solar térmico (...) (Tobajas, 2018, págs. 9-10-11-12)



*Figura 9 Diferentes tipos de paneles solares. Fuente: (Tobajas, 2018)*

## 2.8. Determinación del número de paneles solares

Para calcular el número de paneles solares se utiliza la siguiente fórmula:

$$Np = \frac{E}{0.9 \times Wp \times HSP} \quad (7)$$

Donde:

$Np$ : número de paneles necesarios.

$E$ : consumo de energía.

$Wp$ : potencia pico del panel.

$HSP$ : hora solar pico.

Se toma una eficiencia del sistema del 90%, con pérdidas del 10%.

## 2.9. Ángulo de inclinación del panel solar

Para que un panel solar funcione en las óptimas condiciones y al aprovechar al máximo la radiación que incide sobre él, se debe de orientar lo más perpendicular al Sol. Para lograr esto se debe de utilizar los siguientes criterios:

**2.9.1. Acimut ( $\alpha$ ):** Ángulo que mide la desviación respecto al hemisferio sur.

**2.9.2. Inclinación o elevación ( $\beta$ ):** Ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal.

**2.9.3. Incidencia( $\phi$ ):** Ángulo que forman la radiación directa sobre la superficie captadora, es decir, la línea Sol-captador y la perpendicular al captador.

**2.9.4. Declinación ( $\delta$ ):** Ángulo que forma el plano ecuador de la Tierra con los rayos

incidentes del Sol. Su fórmula es:  $\delta^\circ = 23,45 \times \text{sen} \left( 360 \times \frac{284+n}{365} \right)$  (8)

Donde n= número del día de año.

**2.9.5. Latitud ( $\phi$ ):** Ángulo que forma la vertical del punto geográfico que se considere de la superficie y el plano del ecuador.

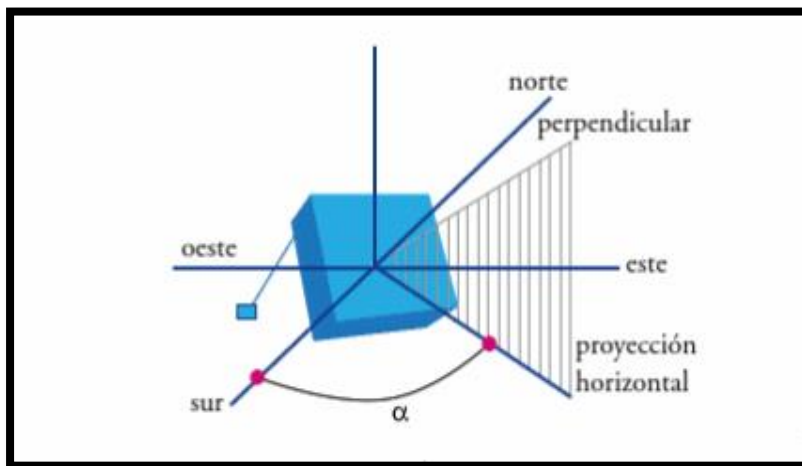


Figura 10 Ángulo Acimut. (Tobajas, 2018)

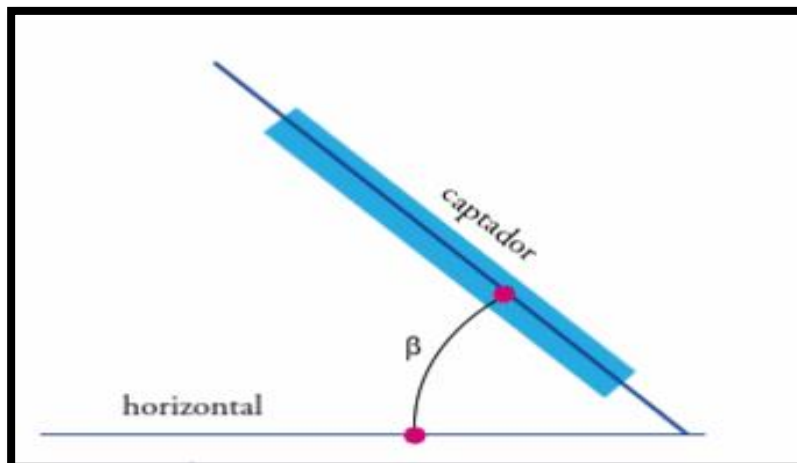


Figura 11 Ángulo de inclinación. (Tobajas, 2018)

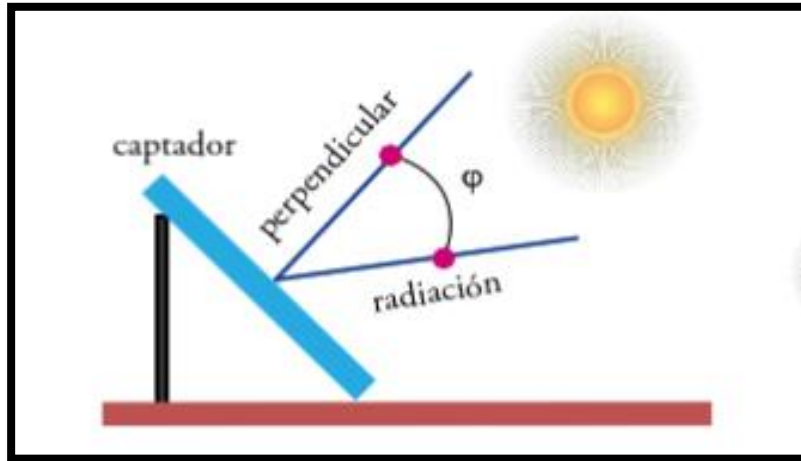


Figura 12 Ángulo de incidencia. (Tobajas, 2018)

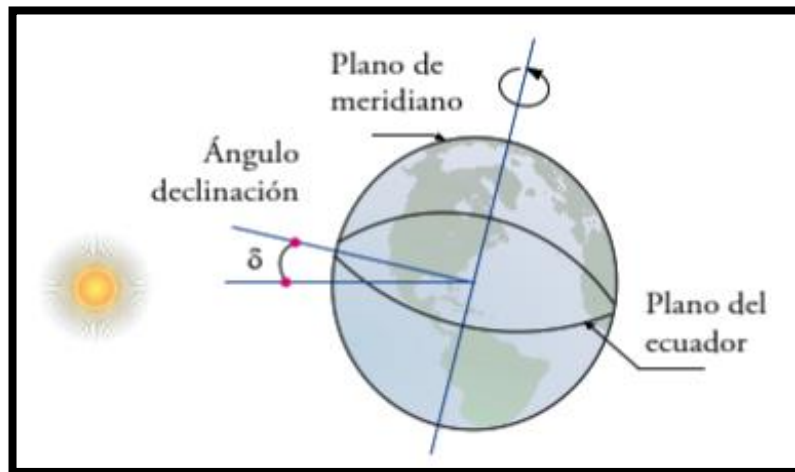


Figura 13 Declinación. (Tobajas, 2018)

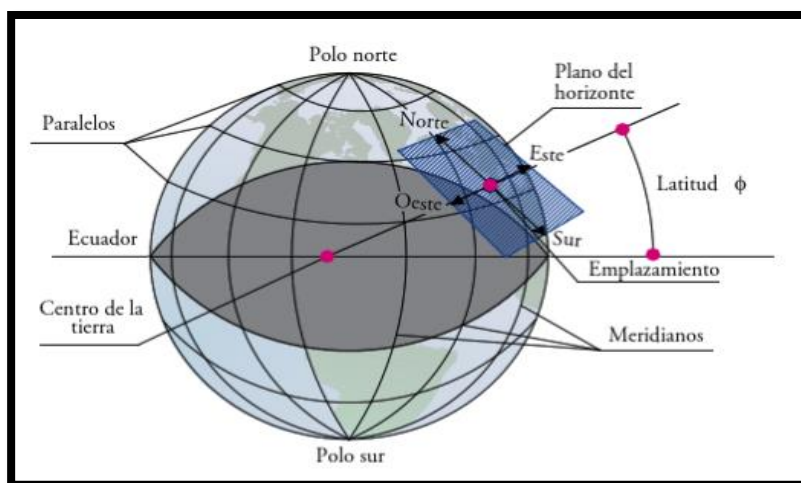


Figura 14 Placas solares según latitud. (Tobajas, 2018)

### 2.9.6. Distancia mínima entre paneles

La distancia mínima entre líneas de captadores para que la fila anterior no proyecte sombras en la posterior. Depende de:

- La altura (h) del panel
- La latitud del lugar.

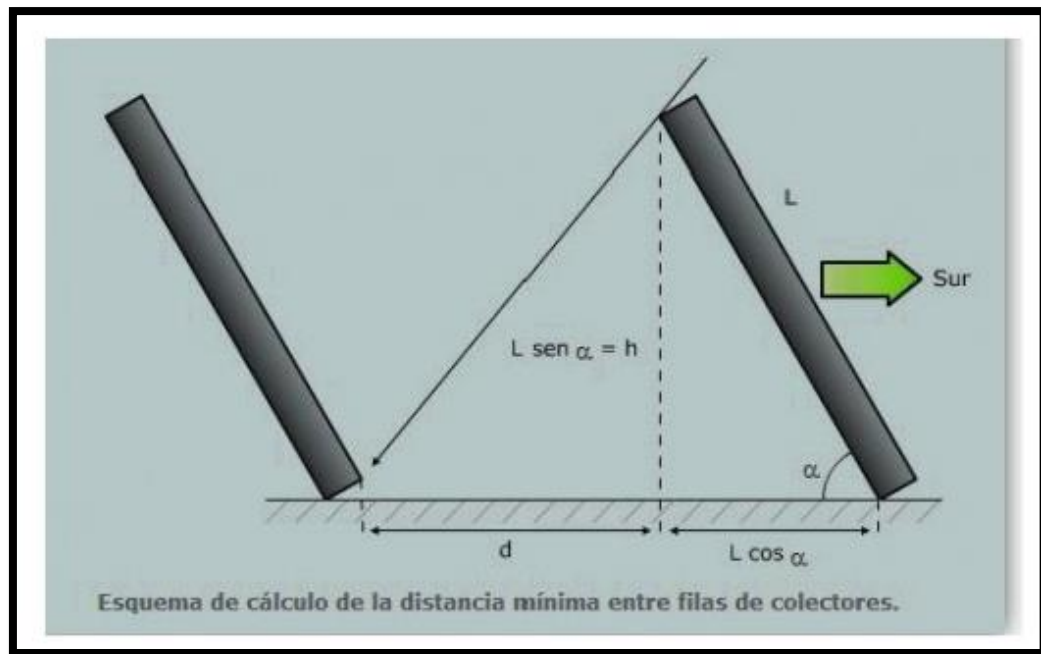


Figura 15 Método para cálculo de distancia (Sebastian, 2019)

La fórmula para el cálculo es:

$$d = B \times \cos\beta + \frac{B \times \sin\beta}{\tan \alpha_{min}} \quad (9)$$

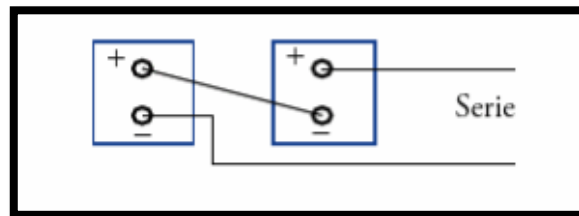
$$\text{Para calcular } \alpha_{min} = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23^\circ. \quad (10)$$

## 2.10. Agrupamiento de los paneles solares

Los paneles solares se pueden agrupar en tres diferentes formas para para su buen funcionamiento y mayor eficiencia. Estas configuraciones son:

### 2.10.1. Serie

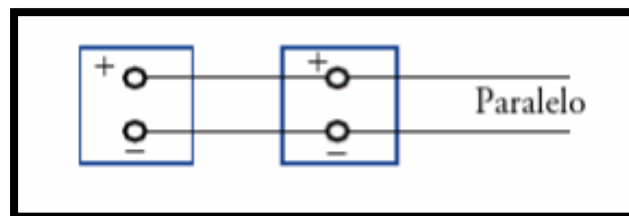
Este tipo de configuración el polo positivo de un panel va conectado al negativo del otro. con este tipo de conexión se hace una suma de los voltajes a la salida de todos los paneles, pero manteniendo siempre la misma corriente de salida.



*Figura 16. Conexión en serie. (Tobajas, 2018)*

### 2.10.2. Paralelo

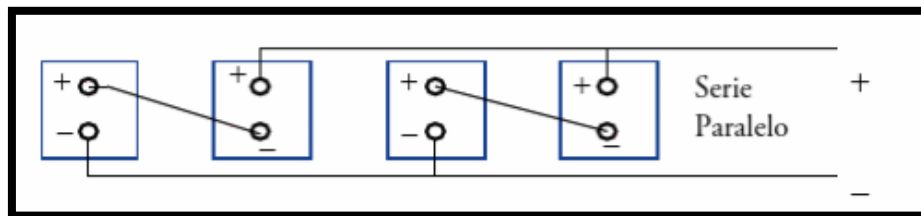
Este tipo de conexión conecta todos los polos positivos y todos los negativos. Con esto se consigue mantener un voltaje de salida constante, pero aumentando la corriente de salida en el circuito.



*Figura 17. Conexión paralela. (Tobajas, 2018)*

### 2.10.3. Mixta

En esta conexión intervienen las dos formas anteriores de configuración, siempre y cuando que todos los módulos deben de ser iguales y conectados de la misma manera.



*Figura 18 Conexión mixta. (Tobajas, 2018)*

## 2.11. Reguladores

Según Vázquez (2012) La misión fundamental de un regulador es evitar las sobrecargas y descargas excesivas en los acumuladores, las cuales producirían daños irreversibles, también asegura que el sistema trabaja con máxima eficacia. La tensión que nos proporcionan los módulos solares fotovoltaicos ha de ser siempre mayor con respecto a la tensión nominal de las baterías, debido a que:

- Con mayor temperatura, la tensión decrece.
- La tensión en la batería debe ser mayor para que ésta pueda ser cargada correctamente.

Para poder regular la carga y descarga de las baterías es necesaria la utilización de un regulador, gracias a la simplicidad del equipo, reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías en el sistema fotovoltaico sean muy escasas

### 2.11.1. Tipos de reguladores

Esencialmente existen dos tipos de reguladores:

- Regulador shunt o paralelo.
- Regulador serie.

Aunque la misión de los dos es la misma, se diferencian en la forma de trabajo, en el funcionamiento y, por supuesto, en el precio. A grandes rasgos el regulador shunt se utiliza para instalaciones pequeñas, y el regulador serie para instalaciones donde se aplican intensidades más elevadas. (Vázquez, 2012, págs. 21-22)

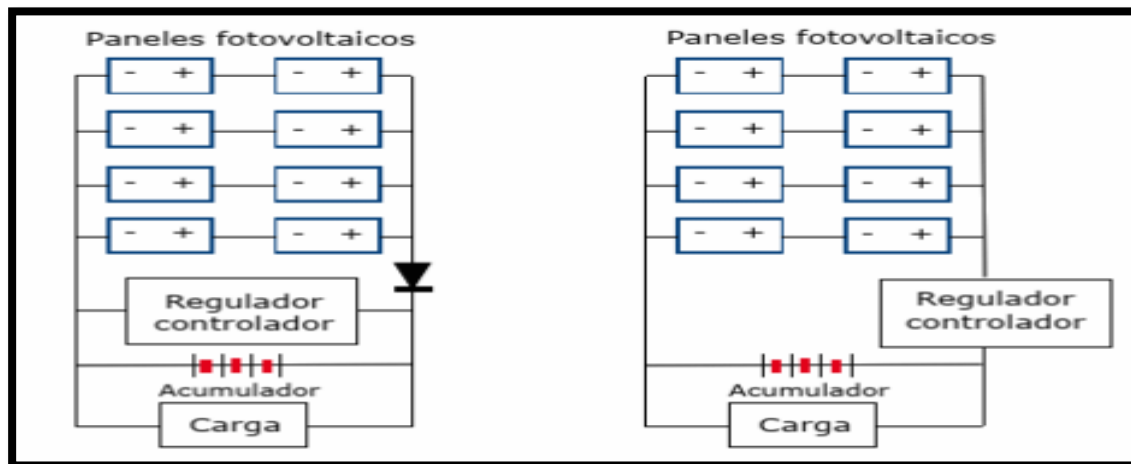


Figura 19 Conexión reguladora según configuración. Fuente: (Vázquez, 2012)

## 2.12. Inversor DC/AC

Según Óscar Perpiñan Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012 define al inversor como: “La señal de potencia suministrada por un generador fotovoltaico iluminado es en tensión continua, que debe ser acondicionada para permitir el correcto acoplamiento a la red eléctrica" (pág. 21). Este trabajo tan importante es realizado por el inversor de corriente DC/AC. Los paneles solares durante su funcionamiento transforman la energía solar en corriente directa DC, esta corriente no sirve, ya que la mayoría de los aparatos eléctricos funcionan con corriente alterna AC. Estos inversores se pueden conectar a corriente monofásica, trifásica y se pueden clasificar en función de la forma de onda de salida ya sea cuadrada, de onda modificada o de onda senoidal.

### 2.12.1. Configuración de los inversores

Los inversores utilizan semiconductores de potencia llamados tiristores (SCR y GTO), y transistores de potencia MOSFET, con una mayor frecuencia de conmutación se obtiene una onda de salida más próxima a la senoidal. La siguiente figura muestra el principio

de operación de un inversor y se debe prestar atención en el diseño a elaborar cuales tipos de cargas son las que presenta el lugar, ya que un inversor de onda modificada no es recomendable en lugares en donde existen motores con altos consumos de corriente en el arranque. Para este tipo de cargas como es el caso de una estación de RTV el tipo de inversor que se debe de utilizar es el de onda senoidal.

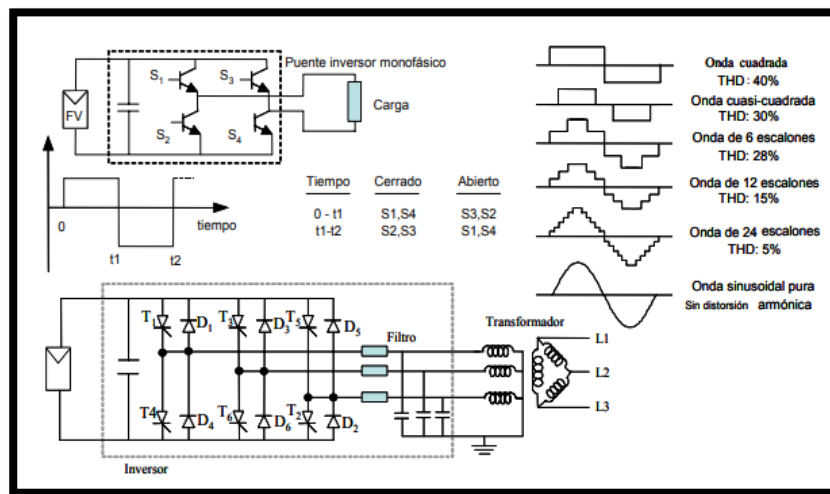


Figura 20 Principio de funcionamiento de inversor. Fuente: (YUBA, 2015)

### 2.12.2. Características de un inversor comercial

- Potencia nominal máxima
- Ventana de búsqueda del punto de máxima potencia (MPP)
- Tensión máxima de entrada
- Tensión nominal de salida
- Eficiencia máxima
- Rendimiento europeo
- Umbral de arranque

### 2.12.3. Tipos de inversores

Los inversores pueden clasificarse en tres grupos principales:

1. Inversor central: un único inversor dedicado a todo el generador.
2. Inversor orientado a rama: un inversor dedicado a una rama del generador.
3. Modulo AC: un inversor dedicado a un módulo del generador.

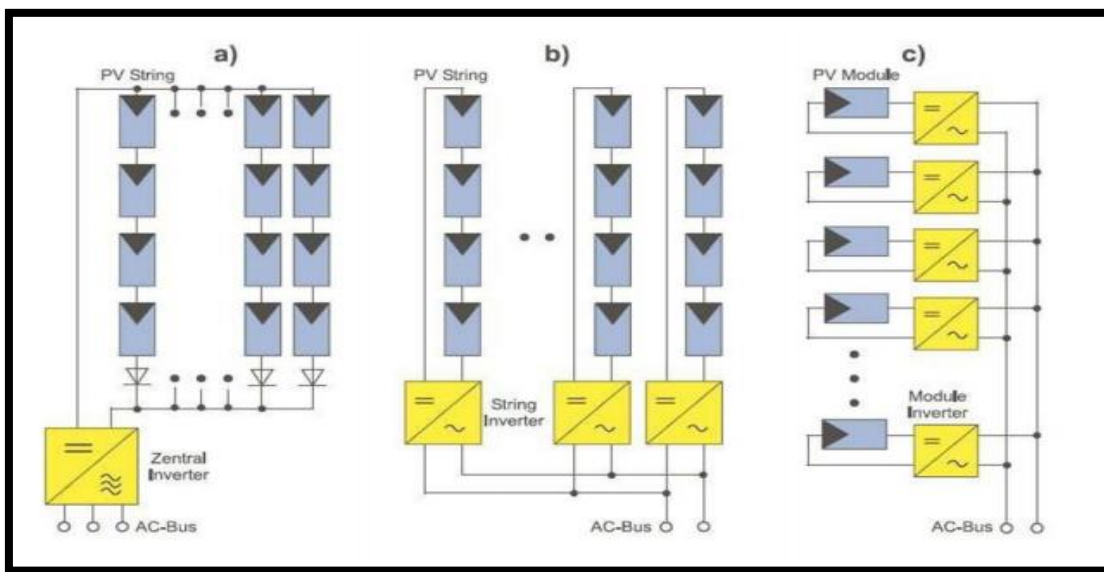


Figura 21 Tipos de inversores Fuente: (Boileau, 2013)

Cuando se va a tomar la decisión de utilizar cualquiera de las anteriores clases de inversores se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Los inversores orientados a rama son particularmente útiles en algunos sistemas de integración arquitectónica.
- Los inversores centrales son recomendables para instalaciones de medio o gran tamaño. Permiten reducir costos, aumentar fiabilidad y eficiencia.

- Los inversores “modulo AC deben descartarse, en cualquier caso.
- La potencia del inversor debe estar en consonancia con la potencia del generador (una planta de 1MW debe de contar con 10 inversores de 100 kW o 4 de 250 kW). (Óscar Perpiñan Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012, págs. 21-22)

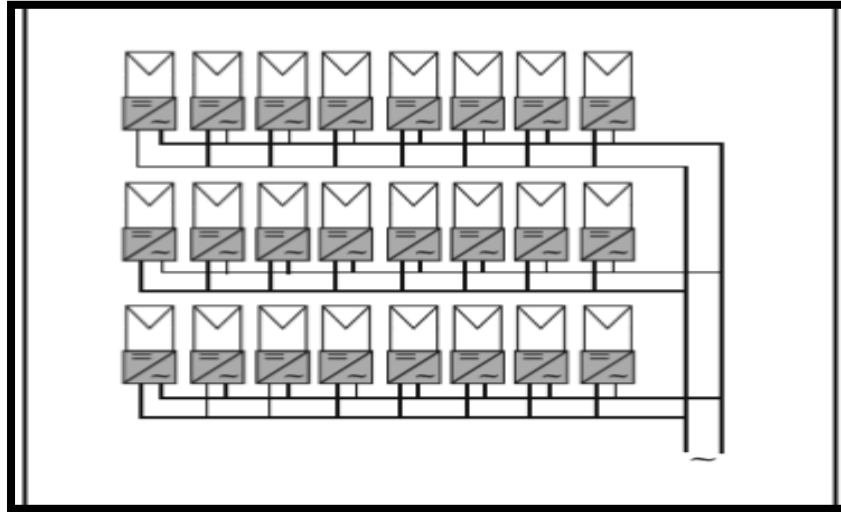
Para calcular el número de inversores por utilizar en un arreglo fotovoltaicos se utiliza la siguiente fórmula:  $P_{inv} = WpxNP$  (11)

#### **2.12.4. Micro inversores**

Existe también la posibilidad, no muy extendida, de utilizar un inversor individual para cada módulo fotovoltaico. El inversor obviamente es de muy baja potencia (100-200 W). (Rújula, 2009).

Los micro inversores tienen ciertas ventajas sobre el inversor convencional a saber en un caso de que alguno de los módulos falle totalmente, hay sombras, basuras, nieve, no se va a ver una reducción significativa de la producción de energía del sistema. (Wikipedia, 2019).

Si se necesitara conectar un inversor central más pequeño de 2000 W el micro inversor es la única alternativa.



*Figura 22. Diagrama de conexión de inversores individuales a cada módulo. (Rújula, 2009)*

### **2.13. Acumuladores**

Según Tobajas, 2018 “Dentro de un sistema fotovoltaico el acumulador eléctrico o batería es la encargada de almacenar la energía eléctrica que produce la placa solar fotovoltaica una vez que la radiación solar haya incidido en dicha placa solar.” (pág. 19).

Por lo tanto diferentes de tipo de acumuladores que son: los estacionarios y los de arranque.

Para una instalación fotovoltaica se tiene que poner un acumulador de tipo estacionario de los cuales se encuentran los siguientes tipos con sus respectivas características:

- **Batería de plomo-acido (Pb-Sb):** baterías tubulares, es la más utilizada en instalaciones medias o grandes. Formadas con celdas de polipropileno translúcido de 2V, uniéndose en elementos en serie hasta llegar a 12 o 24 V.

- Bateria de plomo-calcio ( Pb-Ca): la más apropiada para instalaciones pequeñas. Su forma es como las baterías de los automóviles con una estructura tipo monoblock.
- Baterías de ciclo profundo gelatinoso: es una batería de tipo Pb-acido, donde el electrolito no es un líquido, es gelatinoso. No requieren ventilación exterior como las de plomo ácido. Pueden obtenerse en versiones de 6 a 12 V.
- Bateria de níquel-cadmio( Ni-Cd): compuesta por un proceso electroquímico, basada en que la placa positiva, esta formada por hidróxido de níquel, y la negativa por hidróxido de cadmio. Estas placas se encuentran bañadas en un electrolito, en donde hay una solución acuosa de hidróxido de potásico con otros elementos.
- Bateria de níquel-hidruro metalico ( Ni-MH): tiene un electrodo de níquel, el otro electrodo es de una aleación de hidruro, es menos contaminante que el cadmio. Su uso en instalaciones fotovoltaicas es muy limitado. (Tobajas, 2018, págs. 19-20-21-22)

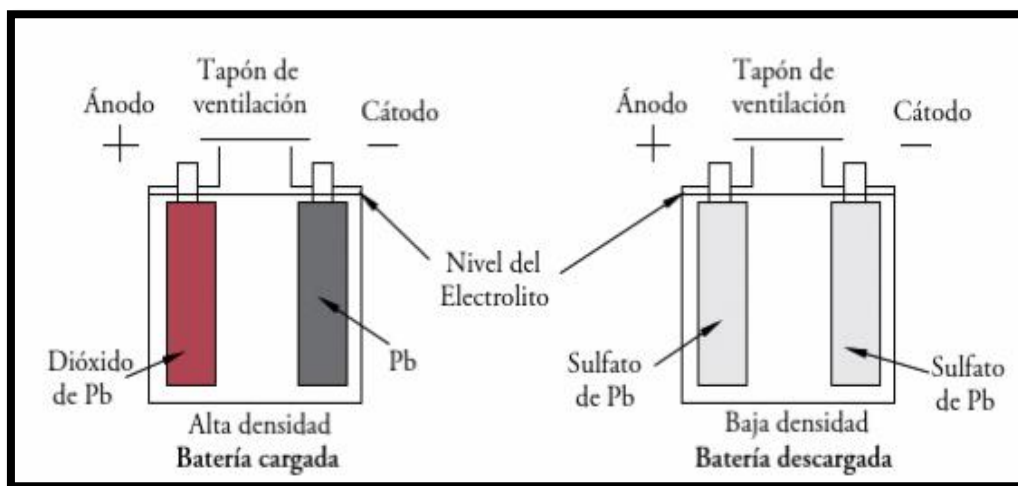


Figura 23 Estados de un acumulador-batería. Fuente: (Tobajas, 2018)

Las baterías se tienen que conectar en series y paralelos para formar el voltaje nominal de trabajo y suplir el total de la corriente necesaria como se puede ver en la siguiente figura:

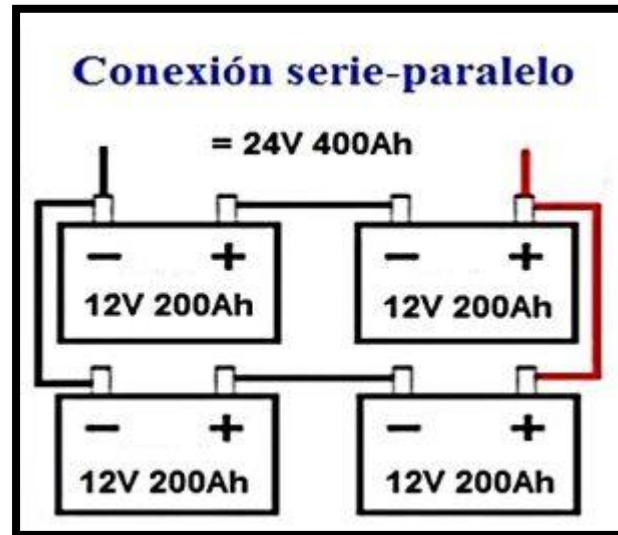


Figura 24. Conexión serie-paralelo de baterías. (Solar, 2019)

## 2.14. Dispositivos de medición

El usuario de un sistema fotovoltaico debe disponer de un sistema de medición a efectos de medir la producción de energía eléctrica y verificar el cumplimiento de máxima descarga de la energía anual producida como máximo a inyectar a la red.

### 2.14.1. El sistema de medición bidireccional

Este tipo de medidor, además de poder medir el consumo de energía eléctrica de la compañía girando en el sentido normal puede girar de manera contraria, haciendo posible que la Compañía Distribuidora de electricidad reste a nuestro recibo la energía que estamos generando y sume a nuestro favor la energía de exceso, lo que evitaría la instalación de un almacén de electricidad.

Un medidor bidireccional funciona de la siguiente forma: durante el día producimos energía eléctrica con nuestros paneles solares fotovoltaicos, el medidor se encarga de calcular

esta energía y restarla al consumo del servicio de luz. Cuando la energía resulta en excedente podemos utilizarla por la noche o en caso contrario de haber utilizado más energía de la producida, puedes volverte a conectar al servicio de la comisión de electricidad. Y en el mejor de los casos, al fin de mes haber producido un excedente de energía que podrás utilizar en los próximos 12 meses.

Un medidor bidireccional es la mejor opción para las personas que quieren comenzar a utilizar la energía fotovoltaica como fuente de electricidad, pues es la manera más práctica de conocer el ahorro económico de la energía solar y obtener una bonificación tangente del provecho que se le está dando a los paneles. (BYMSOL, 2019)

Este medidor se ubica en el punto de acople con la red de distribución de la empresa eléctrica y es de cuatro cuadrantes, permitiendo medir tanto la energía entregada como la energía extraída del sistema de distribución. Para adquirir un medidor Bidireccional es necesario realizar un trámite de solicitud, cada distribuidora tiene su propio tramite.

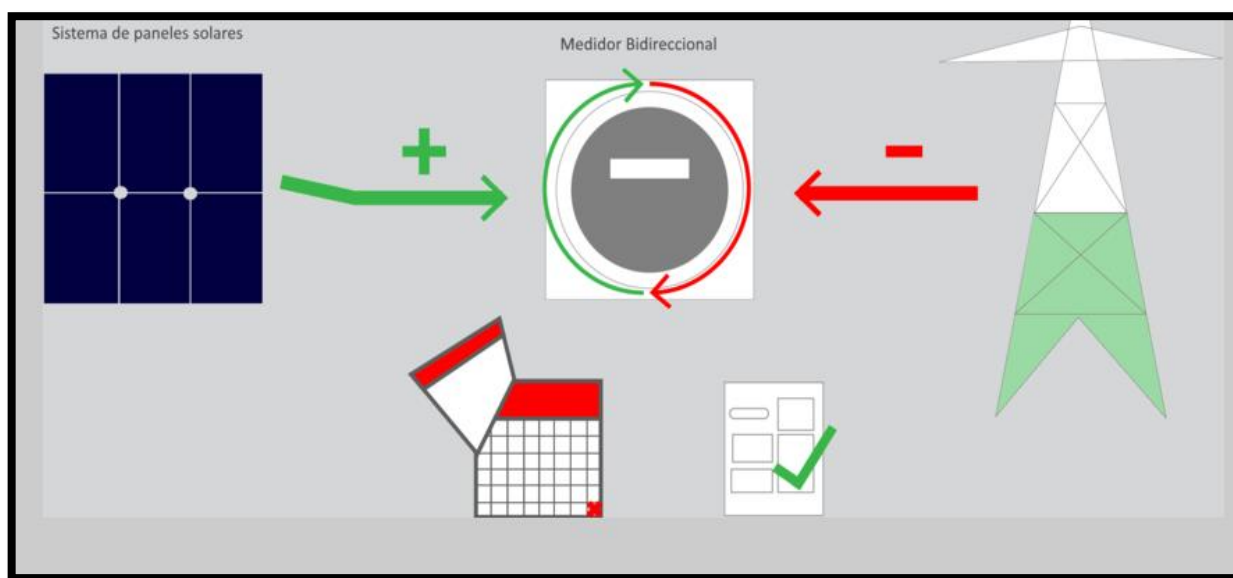


Figura 25. Diagrama medidor bidireccional. (BYMSOL, 2019)

### 2.14.2. El sistema de medición de generación

Llamado medidor de potencia, que lee la cantidad de energía que produce el sistema solar. Se coloca entre el inversor y la caja del disyuntor. Es suplido por la empresa eléctrica y forma parte de los costos de interconexión.

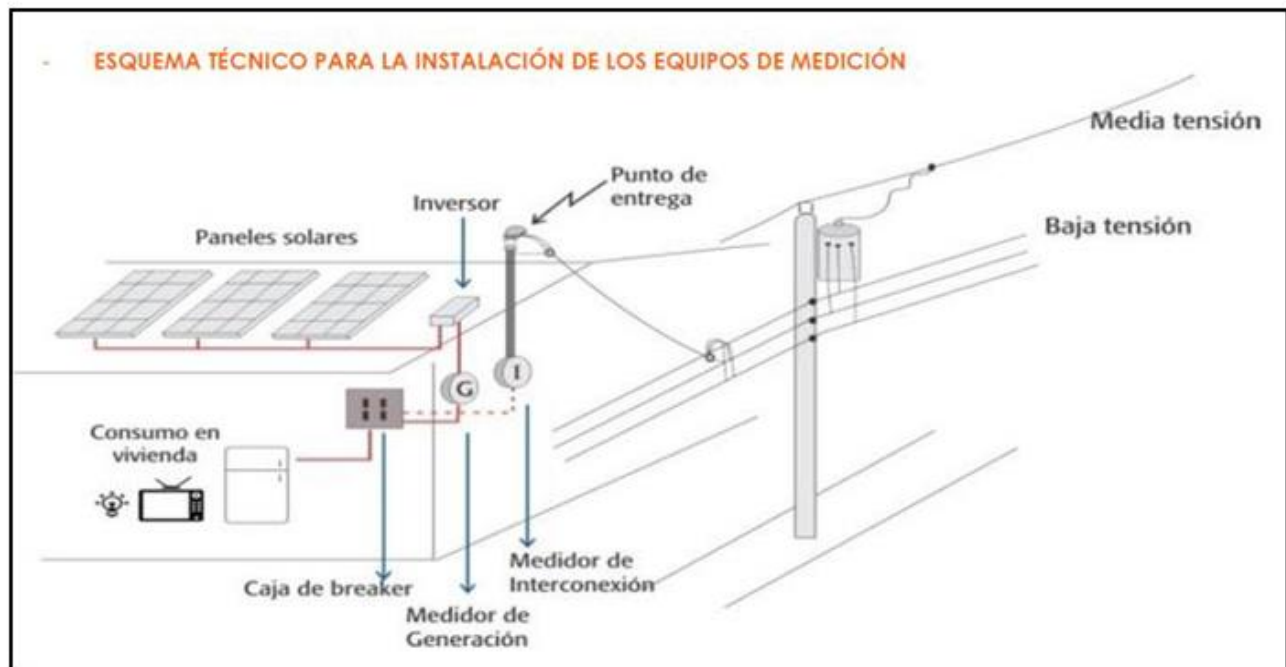


Figura 26. Esquema de instalación de medidores. (CNFL, 2019)

## 2.15. Celdas de combustible

Con base en la lectura de la revista emitida por GENCELL Energy sobre celdas de combustible, la implementación de un sistema de emergencia en caso de un faltante en el fluido eléctrico sería de suma importancia, ya que la estación no posee un sistema de respaldo para contrarrestar estos recortes, esto provoca malestar en lo clientes externos que solicitan el servicio. La implementación de un sistema que involucre una tecnología limpia como las celdas de combustible podrían ser de gran utilidad, pues evitaría estos malestares, además; contribuirían con el ambiente, por cuanto ocasiones se ha tenido que utilizar plantas de emergencia manejadas por un motor de combustión interna, a saber, el Diesel.

Las celdas de combustible fueron inventadas por el juez y científico gales William Grove en 1839, después de esto han tenido una evolución a lo largo del tiempo como se puede apreciar en la figura 24, al ser tan efectivas que la NASA las utiliza en sus misiones espaciales desde los años 60. Las celdas de combustible son un dispositivo electroquímico de conversión de energía que produce electricidad combinando hidrógeno y oxígeno en el agua.

Las celdas de combustible son muy similares a las baterías normales, pero una ventaja es que las celdas de combustible pueden generar energía continuamente. Este tipo de celdas de combustible se basan en un proceso químico de oxidación, en este proceso los átomos de hidrógeno (H) reaccionan con los átomos de oxígeno (O), de esta reacción se produce agua y se da la liberación de electrones.

Otra ventaja es que, a diferencia de otras fuentes de energía eléctrica como los turbogeneradores y motores de combustión interna, la pérdida de energía es aproximadamente de un 33 %, esto no sucede en las celdas de combustible porque estas no

tienen pérdida de potencia al no existir fricciones internas que al final son transformadas en calor, de esta forma las celdas son más eficientes en su funcionamiento.

Existen cinco tipos principales de celdas de combustible caracterizadas básicamente por el tipo de electrolisis usada para que se dé la separación de los electrones. Tienen diferencias en los materiales utilizados, diferentes niveles de temperatura bajo, medio y alto.

### 2.14.1. Celda de combustible alcalina

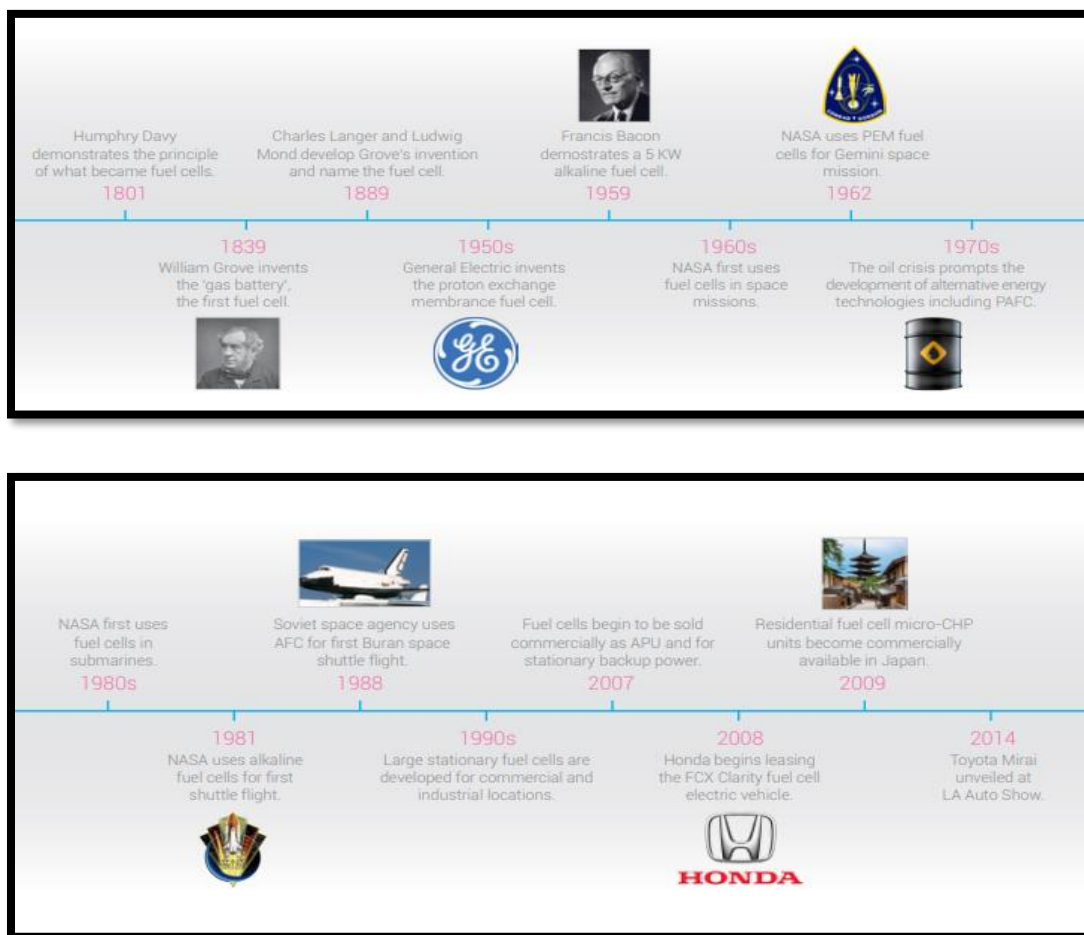


Figura 27. Historia de las Celdas Solares. (GENCELL ENERGY, 2018)

Este tipo de celda AFC fue desarrollada por Francis Thomas y utilizó como electrolito alcalino el hidróxido de potasio (KOH), este tipo de celdas trabajan a bajas temperaturas y se encuentran entre las de mayor eficiencia al alcanzar hasta un 60% y teniendo una gran ventaja de no necesitar precalentamiento o sea entra en funcionamiento de manera instantánea. En la figura se observa cómo es su funcionamiento. Se compone de dos electrodos uno negativo y otro positivo. Además, es observable cómo se da la electrólisis combinando el O con el H, al dar como resultado los subproductos: agua (H<sub>2</sub>O) y electrones aprovechados por la carga conectada.

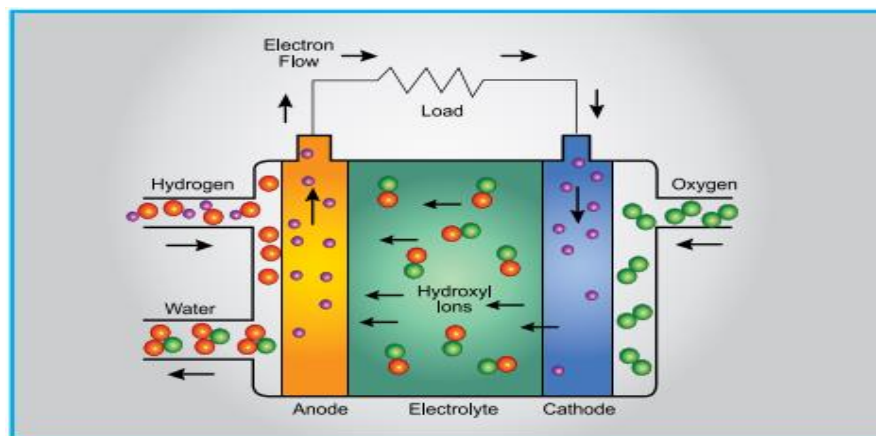


Figura 28 Funcionamiento Celda AFC. (GENCELL ENERGY, 2018)

### 2.14.2. Celda de combustible de membrana de intercambio de protones

Conocida como PEMFC o PEM por ser ligeras y pequeñas son muy utilizadas en el manejo de materiales en carretillas elevadoras y en transporte. Utilizan como electrolito una membrana de polimérica y se pueden encontrar en base de agua que puede funcionar a temperaturas entre 80 y 100 grados Celsius y en base mineral a temperaturas de hasta 200 grados Celsius. Están compuestas de 2 electrodos y contienen una fina capa de catalizador de platino, esta capa es la encargada de la separación del H en protones y electrones, tal separación ocasiona que los electrones fluyan hacia el circuito externo, los protones sobrantes se convierten en vapor de agua.



*Figura 29 Celda de combustible alcalina. Fuente: (GENCELL ENERGY, 2018)*

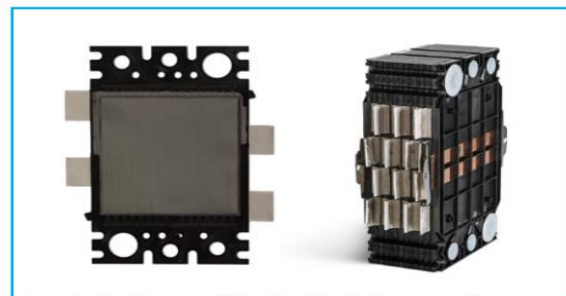
### 2.14.3. Celda de combustible de Ácido Fosfórico

Las celdas de combustible (PAFC) utilizadas normalmente para la generación de energía estacionaria, en edificios, hoteles, hospitales y servicios públicos eléctricos. Son muy exitosas y confiables con un 40 % más eficiente, con una larga vida útil y horas de operación.

La única desventaja de este tipo de celdas es la emisión de vapor de ácido fosfórico y, por ende, estas unidades deben tener un buen sistema de ventilación. Estas células usan ácido fosfórico como el electrolito, ánodo y cátodo hechos de platino dispersado sobre una estructura de carburo de carbono y silicio.



*Figura 30. Estructura celda solar PAFC.  
Fuente: (GENCELL ENERGY, 2018)*



*Figura 31 Catalizador de Platino. Fuente:  
(GENCELL ENERGY, 2018)*

#### **2.14.4. Celdas de combustible de carbonato fundido (MCFCs)**

Este tipo de celda utilizan un electrolito de carbonato fundido pueden llegar a funcionar de hasta 650 grados Celsius. Estas celdas utilizan con combustible gases naturales, metanol, etanol, biogás y gas de carbón. Poseen una eficiencia cercanos a los 50% y pudiendo llegar hasta los 80 %. Estas celdas necesitan alcanzar una elevada temperatura por lo tanto ocasiona que sea de un uso más lento. Su aplicación más adecuada es en la provisión de potencia constante en grandes aplicaciones de servicios públicos.

#### **2.14.5. Celdas de combustible de óxido sólido (SOFC)**

Estas utilizan un compuesto cerámico duro y no poroso como electrolito y operan a temperaturas de hasta 1000 grados Celsius. Estas celdas tienen la gran desventaja de trabajar a temperatura tan alta responden con lentitud a los cambios en la demanda de electricidad. Son las más adecuadas para grandes aplicaciones.

### **2.16. Planta Generadora Diesel**

El generador diésel es un equipo cuya utilización está indicada para aplicaciones que requieran mayor potencia y para un funcionamiento continuo. Estos equipos convierten el combustible en energía eléctrica, a través de la combustión del diésel. (Grupel, 2019)

Este tipo de generación incorpora un motor diésel que transforma el movimiento y lo trasmite a un generador el cual produce la energía eléctrica necesaria para ser distribuida en función de las necesidades de los equipos conectados. (Grupel, 2019)

Los generadores diésel pueden tener un uso bastante amplio, ya que pueden estar conectados durante horas, semanas o simplemente hasta que llegue vuelva la energía eléctrica principal. Para ello, debe asegurarse de que está convenientemente abastecido para que pueda cumplir su función. (Grupel, 2019)

### 2.16.1. Ventajas de un generador diésel

- El generador diésel se destaca por ser más potente y su mantenimiento más económico en comparación con uno de gasolina, ya que es un tipo de combustible más caro que el diésel. (Grupel, 2019)
- El motor de un generador diésel presenta menor consumo, al contribuir a una mejor eficiencia y tiene una mayor durabilidad. (Grupel, 2019)
- Son más rentables que los generadores de gasolina, si se utilizan en periodos más largos. (Grupel, 2019)
- Presenta una mayor vida útil que uno de gasolina. (Grupel, 2019)

### 2.1.2. Métodos para la selección de un generador diésel

- Consultar la factura de corriente: a pesar de haber un valor en la factura de electricidad, este puede no ser el verdadero, pues en algunos aparatos como por ejemplo los motores que tienen picos de arranque para contrarrestar esta demanda de corriente en el arranque se añade comúnmente un +25% de la potencia.
- También se posible calcular los valores de manera individual de cada aparato diario para crear un total de potencia necesaria, en donde se puede utilizar la fórmula: (Grupel, 2019)

$$S_{(kVA)} = \frac{P_w}{(1000 \times PF)} \quad (12)$$

## 2.16. Matemática Financiera

Es muy importante en cualquier diseño de implementación de un proyecto tomar en cuenta la parte financiera, ya que esto determina si el plan va ser rentable para los intereses del negocio, empresa o vivienda. Con esto se obtendrá una idea clara de la inversión realizada y muy importante en cuanto tiempo se va a recuperar esa inversión.

Existen conceptos importantes por definir antes para entender correctamente la matemática financiera desarrollada a continuación.

### 2.16.1. Valor Actual Neto (VAN)

Es un procedimiento que permite calcular de valor presente de un determinado número de flujos de caja de futuros, originados por una inversión. Consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros o determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización (k) o de descuento (d) es el resultado de producto entre coste medio ponderado (CMPC) y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado. La fórmula para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 \quad (13)$$

Donde,  $Vt =$  representa los flujos de caja en cada periodo  $t$ .

$I_0 =$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.

$n =$  es el número de periodos considerado.

$k =$  es el tipo de interés.

### Interpretación del VAN

VAN>0	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida( $r$ )	El proyecto puede aceptarse
VAN<0	La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida	El proyecto debería rechazarse
VAN=0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	No genera ni beneficios ni pérdidas

### 2.16.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor rentabilidad, así se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo

de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto expresada supera la tasa de corte, se acepta la inversión en caso contrario, se rechaza.

***Formula de la Tasa Interna de Retorno***

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (14)$$

Donde, Ft son los flujos de dinero en cada periodo t

$I_0$  es la inversión realizada en el momento inicial (t=0)

n es el número de periodos determinado

Si  $TIR \leq$  Costo de capital  $\rightarrow$  Se rechazará el proyecto. La rentabilidad requerida en este préstamo es mayor al costo de oportunidad.

Si  $TIR >$  Costo de capital  $\rightarrow$  Se aceptará el proyecto. (Wikipedia, 2019)

**2.17. Normas y legislación vigente sobre generadores para autoconsumo a partir de energías renovable**

Cuando se va a implementar un sistema de autoconsumo de energía eléctrica se deben de conocer cuáles son las leyes y normas vigentes, en este país las promulgadas por la ARESEP bajo la norma "Planeación, Operación y Acceso al Sistema Eléctrico Nacional" (POASEN).

Estas normas en sus artículos dictan las pautas por seguir cuando el usuario del servicio eléctrico quiere conectarse a la red nacional, quiere producir su propia corriente eléctrica para

el autoconsumo y las tarifas por pagar por el servicio. Los siguientes son los artículos más importantes de la norma POASEN. Resolución RJD-030- '2016 del 18 de febrero de 2016 publicada en el alcance N° 25 a la Gaceta N° 37 del 23 de febrero de 2016.

### **2.17.1 Generación distribuida para autoconsumo**

La generación distribuida para autoconsumo significa que no solo las distribuidoras eléctricas generan la electricidad consumida en Costa Rica, también los abonados del país también pueden generar su propia energía en el mismo lugar en donde la consuman. Este tipo de generación busca satisfacer las necesidades energéticas parcial o totalmente del productor-generador. Generación Distribuida interconectada a la red.

En estos casos el productor-consumidor instala su sistema de generación, pero a la vez también mantiene la conexión a la red pública de la distribuidora eléctrica en donde se ubica.

Este tipo de generación distribuida con interconexión funciona de tal manera en periodos de generación de electricidad en donde no hay consumo o hay menor consumo que el generado por parte del usuario, el excedente de electricidad producida sea inyectado a la red eléctrica.

Luego en periodos en donde no hay generación, pero si se consume, el cliente toma electricidad de la red eléctrica pública. Al final de cada periodo de facturación se hace un balance entre la electricidad inyectada a la red y aquella consumida de la red. (Acesolar, s.f.)

Se encuentran tres casos de funcionamiento de un sistema de autoconsumo conectado a la red. En la figura 29 se esquematiza las partes principales de un sistema fotovoltaico.

En la figura 30 representa el primer caso de funcionamiento se puede ver el momento en el cual se produce más electricidad de la necesaria, este excedente de corriente es inyectado a la red eléctrica.

En la figura 31 se muestra los momentos en los cuales, por situaciones climatológicas, se reduce la producción de energía eléctrica el sistema toma parte del consumo de la red eléctrica y otra parte de la producida por los paneles.

El último caso figura 32 ejemplifica lo que sucede en la noche, claramente se toma la corriente necesaria de la red eléctrica.

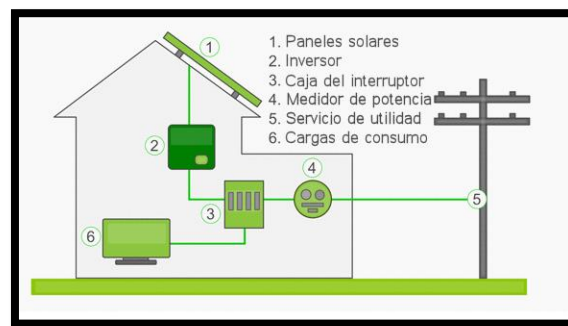


Figura 32. Sistema conectado a la red. (Acesolar, s.f.)

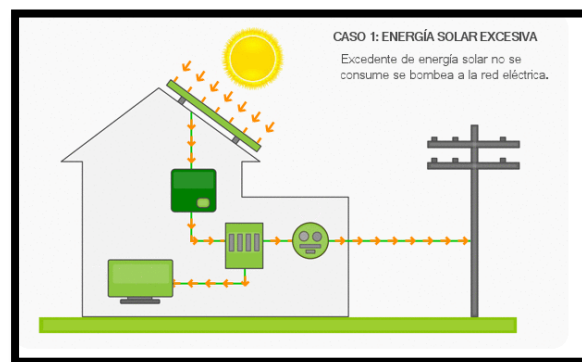


Figura 33. Esquema de energía solar excesiva. (Acesolar, s.f.)

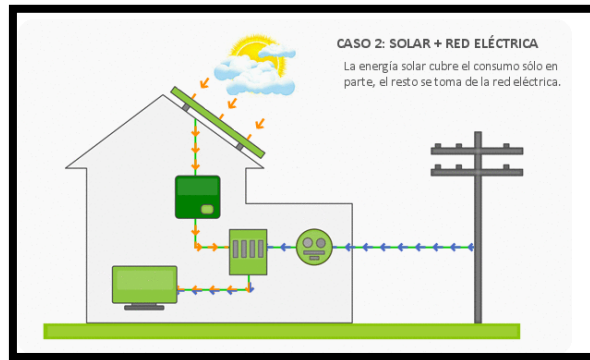


Figura 34. Sistema energía solar + eléctrica. (Acesolar, s.f.)

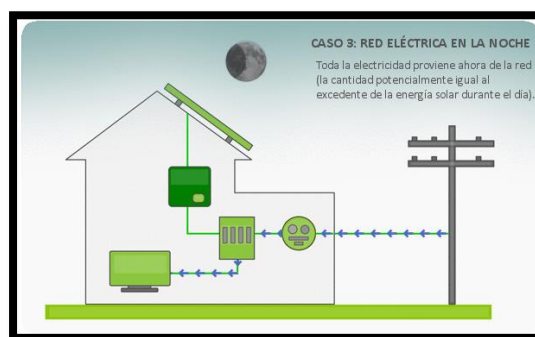


Figura 35. Sistema utilizado en la noche. (Acesolar, s.f.)

### 2.17.2. Norma POASEN

Resolución RJD-030- '2016 del 18 de febrero de 2016 publicada en el alcance N° 25 a la Gaceta N° 37 del 23 de febrero de 2016.

#### **Artículo 123. Productor consumidor no interconectado a la red**

El productor-consumidor con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, no interconectado a la red de distribución, no estará sujeto a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

**Artículo 124. Modalidades de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables interconectadas a la red**

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables interconectadas a la red se desarrollará y operará bajo las siguientes modalidades:

- a. **Neta sencilla:** alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, al funcionar en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de depósito y devolución de energía.
  
- b. **Neta completa (venta de excedentes):** 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 venta de excedentes de energía.

**Artículo 125. Generación distribuida para autoconsumo en su modalidad medición neta sencilla**

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, no es servicio público; consecuentemente, no estará sujeta a la regulación de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Dicha actividad se regirá por lo tanto establezca para tales efectos el Ministerio de Ambiente y Energía como ente rector en la materia. No obstante, lo anterior,

en lo referido a su interacción con la red de distribución, estará sujeta a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora en esta materia.

**Artículo 126. Generación distribuida para autoconsumo en su modalidad neta completa**

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, utilizando el modelo contractual de medición neta completa (venta de excedentes), es servicio público y se regirá por lo establecido en la Ley 7200, la Ley 7593 y sus reformas, así como las normas, reglamentos técnicos, metodologías tarifarias y tarifas fijadas para tales efectos por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Asimismo, en lo aplicable, se regirá por lo establecido para tales efectos por el Ministerio de Ambiente y Energía.

**Artículo 127. Relación empresa distribuidora y productores consumidores**

Las relaciones entre las empresas distribuidoras y los productores-consumidores con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, interconectado a la red de distribución, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, se regirán por el contrato de interconexión establecido por el MINAE, respetando para ello la regulación establecida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo relativo a sus competencias.

**Artículo 128. Cumplimiento de normativa técnica en materia de distribución**

Corresponde a las empresas distribuidoras y al productor-consumidor con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, interconectado a la red de distribución, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, cumplir con los criterios de calidad, de conformidad con las normas y reglamentos técnicos establecidos por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo que corresponda.

**2.17.3. Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla N° 39220- MINAE**

Dado en la provincia de Cartago, a los catorce días del mes de setiembre del dos mil quince

**Capítulo II. Artículo 10.-Estudio técnico de capacidad máxima para interconexión de sistemas.**

La empresa distribuidora tiene la obligación de realizar los estudios técnicos para determinar la capacidad máxima de potencia que se puede agregar a cada circuito. El estudio técnico base debe incluir, al menos, los siguientes criterios:

- a) Variaciones de frecuencia.
- b) Sobre corrientes.
- c) Capacidad máxima de la infraestructura para el flujo de potencia.
- d) Fluctuaciones de voltaje.
- e) Corto circuito.
- f) Coordinación de protección.
- g) Estabilidad transitoria.
- h) Límites de parpadeo y distorsión armónica.
- i) Topología de la red.
  - Estudio de Generación Distribuida (para determinar la viabilidad de la interconexión por autoconsumo): **€39,550.00\***
  - Requisitos Específicos:

- Completar y firmar solicitud (Firma manuscrita o Firma digital) la fórmula F-102 "Solicitud de estudio de ingeniería".

Cancelar el monto respectivo, el cual contempla únicamente la elaboración del estudio.

Copia del plano catastrado de la propiedad donde se construirá la obra electromecánica diseñada según el estudio.

Para urbanizaciones, condominios y lotificaciones debe presentar el plano del anteproyecto (puede ser un archivo digital en formato DWG) en el que se muestre el diseño del sitio de la obra (calles, aceras, división, lotes), ubicación geográfica (IGN), levantamiento topográfico de los postes en las zonas aledañas a la entrada de la urbanización o condominio.

Para edificaciones (residenciales, comerciales e industriales) debe presentar los planos eléctricos de la obra, firmados por el profesional responsable firmados por el profesional responsable, con la ubicación geográfica del inmueble, en los siguientes casos:

- a) Cargas superiores a 25 kVA.
- b) Edificios que tengan tres o más pisos, con un área mayor a 750 m<sup>2</sup>, independientemente de la carga demandada.
- c) Edificios con un área de construcción mayor a 1500 m<sup>2</sup>.
- d) Aumentos en la carga instalada mayores a 20 kW.

Posterior a la realización del estudio de ingeniería según sea el caso; debe presentar los siguientes documentos:

- a) Declaratoria de calle pública emitido por la Municipalidad correspondiente. Y Transportes.
- b) Certificado de propiedad o derecho de uso de transformadores en caso de traslado o cambio por aumento de carga.
- c) Permisos para la instalación de postes o anclajes dentro de propiedad privada.
- d) Permiso de la autoridad competente para la poda controlada de la vegetación
- g) Para la solicitud del estudio de ingeniería de proyectos subterráneos, debe cumplir con los requisitos que establece el Manual para Redes de Distribución Subterránea 34,5 kV, del Colegio de Ingenieros Eléctricos, Mecánicos e Industriales (CIEMI)
- h) Para los estudios de ingeniería, según el punto anterior, el solicitante será el Profesional Responsable que firma los planos. La solicitud deberá venir firmada por él mismo, junto con la información respectiva (teléfonos, fax, correo electrónico, entre otros).
- i) Plano sellado por el CFIA para todos los posibles motivos, excepto cuando se trate de una viabilidad técnica para generación distribuida.

### **Sección III. Artículo 14.-Tipos de productor-consumidor**

Existen dos tipos:

- a) El productor-consumidor con un sistema de generación no interconectado a la red de distribución.
- b) El productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución.

### **Artículo 18.-El productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución**

Es el abonado que instala y opera un sistema de generación distribuida para autoconsumo interconectado a la red de distribución eléctrica, por medio un contrato de interconexión.

### **Artículo 19.-Responsabilidades del productor-consumidor con un sistema de generación interconectado a la red de distribución**

Son responsabilidades del productor-consumidor interconectado:

- a) Previo a instalar el sistema de generación distribuida para autoconsumo deberá obtener la autorización por parte de la empresa distribuidora para su instalación.
- b) Instalar únicamente equipos que cumplan las especificaciones técnicas, constructivas y operativas contempladas en las normas técnicas.
- c) El diseño del sistema de generación distribuida deberá estar firmado y sellado por un ingeniero colegiado y visado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

- d) Adecuar y mantener el sistema estructural y eléctrico de su inmueble, para los nuevos requerimientos del sistema de generación distribuida.
- e) Diseñar, construir, operar y mantener el sistema de generación distribuida y sus instalaciones eléctricas de conformidad con las normas técnicas.
- f) Cumplir en todos sus extremos el contrato de interconexión suscrito con la empresa distribuidora.
- g) Cumplir con los procedimientos, requisitos, condiciones técnicas y cualquier otro requerimiento establecido por la empresa distribuidora.
- h) Permitir el acceso del personal de la empresa distribuidora al área donde se ubique el sistema de generación distribuida.
- i) Atender las consultas y recomendaciones que la empresa distribuidora le realice en cumplimiento con este reglamento y las normas técnicas.
- j) Hacer una correcta disposición final de los residuos de los sistemas de generación y almacenamiento de la energía, en concordancia con la Ley N° 8839, Ley para la Gestión Integral de Residuos y Reglamento N° 37567-S-MINAET-H, Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos.

#### **Artículo 20.-Prohibición para la distribución y comercialización**

La interconexión del sistema de generación distribuida no le otorga el derecho a utilizar la red de distribución para distribuir y comercializar energía, con el fin de satisfacer

la demanda de electricidad a terceros o bien satisfacer la demanda de electricidad en un sitio diferente al punto de interconexión establecido en el contrato.

#### **Artículo 34.-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.

Se exceptúan de estas limitaciones, previa evaluación y autorización de la empresa distribuidora, los sistemas de generación distribuida que utilicen residuos agroindustriales o la fuerza hidráulica para la generación de electricidad.

#### **Artículo 37.-Medición neta sencilla**

Esta modalidad permite que se deposite en la red de distribución la energía no consumida en forma mensual, para hacer uso de ella durante un ciclo anual, en forma de consumo diferido.

Si el productor-consumidor consume más energía que la depositada en la red de distribución deberá pagar la diferencia de acuerdo con las tarifas establecidas por la ARESEP.

La producción de energía deberá medirse en su totalidad y se contabilizará de acuerdo con lo estipulado en el contrato de interconexión.

**Artículo 38.-Interconexión.**

El productor-consumidor deberá cancelar el costo de interconexión a la red de distribución de acuerdo con la tarifa de la ARESEP.

**Artículo 39.-Acceso a la red.**

El productor-consumidor deberá cancelar mensualmente a la empresa distribuidora, el costo de acceso a la red de distribución de acuerdo con la tarifa de la ARESEP.

**CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

El autor (Arias, 2006) define marco metodológico como: “El conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas” (p.16). Al partir de este concepto se puede decir que resulta ser la estructura ordenada para la recolección, ordenamiento y análisis de toda la información, de esta manera se puede alcanzar una interpretación de los resultados en función del problema definido al inicio de esta investigación.

**3.1. Enfoque de la investigación**

La presente tesina tendrá un enfoque cuantitativo esto en virtud de las características y necesidades expuestas en el documento, por medio de la presentación de etapas secuenciales y probatorias la cuales definen cada una de las fases que se desean establecer.

Según (Hernández Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista Lucio, 2008) afirman: "Enfoque Cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías" (p,5). Es por esta razón que la investigación se basa en la recolección y estudio de datos entre los que se pueden mencionar:

La radiación solar específica del lugar, definida como la cantidad de rayos incidentes sobre una superficie, la cual es medida de la siguiente manera  $\text{kWh}/\text{m}^2\text{día}$ , que deberá ser recopilada de forma mensual durante un año.

Por otro lado, los consumos eléctricos mensuales de la estación son importantes para establecer la cantidad de paneles solares capaces de generar la demanda de electricidad del lugar de estudio.

Asimismo, las áreas disponibles para la instalación de los paneles solares permitirán definir la cantidad adecuada sin afectar la producción de energía y la infraestructura de la Estación de San Miguel.

Por último, se realizará un análisis financiero concepto de gran importancia para emprender un diseño en donde se tenga que hacer una gran inversión y determinar si realmente se recupera lo gastado en un tiempo razonable y así comprobar la viabilidad del proyecto.

### **3.2. Método de la investigación**

Para esta investigación se utilizará el método de investigación descriptivo ya que este tipo desarrolla de manera más concreta los objetivos planteados al inicio del documento.

Los estudios descriptivos miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así... describir lo que se investiga. (Hernández et al, 2008, p. 102).

Es por estas características que la investigación resulta ser descriptiva ya que busca diseñar un sistema de energías renovables describiendo paso a paso como alcanzar el objetivo, iniciando con el desarrollo del problema y como esto ayudaría tanto a la empresa como al país, seguidamente la parte investigativa en relación al tema específico presenta

características técnicas, comerciales, costos y apegándose a la normativa vigente del país, a continuación se hará todo el desarrollo basándose en cálculos matemáticos, cálculos financieros y criterios técnicos para concluir con el análisis final de los resultados, al brindar la propuesta que se creada y al hacer las recomendaciones necesarias. Todo con el fin contribuir de manera positiva el consumo de energía eléctrica, reducir la factura eléctrica y reducir el impacto ambiental de la empresa Riteve.

### **3.3. Fuentes de la investigación**

Para la realización de la investigación se utilizarán fuentes de información que darán información necesaria para el desarrollo de los objetivos trazados entre ellas se pueden mencionar:

Dentro de las fuentes de información están las primarias, tales como libros de diferentes autores facilitados desde la biblioteca virtual de la universidad UIA, tesis realizadas por estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica de la UIA, normas y reglamentos vigentes de Costa Rica tales como: Norma POASEN, Minae, Código eléctrico Nacional.

Como fuentes secundarias de información se utilizaron facturación anual de la empresa correspondiente al año 2018, facilitado por el departamento de operaciones de la empresa obtenida de la CNFL. Diferentes *sitios web* con informaciones climatológicas tal como la aplicación PVsyst V6.79, Google Mapas, *sitos webs* de diferentes proveedores de sistemas fotovoltaicos en el país.

### 3.4. Variables o Categorías de Análisis

Objetivo	VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Calcular el número, tamaño, y colocación de los paneles solares a instalar tomando en cuenta la potencia máxima requerida, radiación que incide sobre la estación y dimensiones de la estructura	Facturación anual de consumos eléctricos de la estación Riteve San Miguel	Cuenta en la que se detallan los servicios recibidos, junto con su cantidad y su importe, y que se entrega a quien debe pagarla	Visualización del consumo eléctrico en un lapso medido en kwh y el costo monetario que se debe de pagar	Revisión Documental
	Radiación Solar	Energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol	Mediante la constante solar se mide la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie	
	Panel Solar	Es una porción, generalmente cuadrada o rectangular, de una superficie, que está limitada mediante molduras o franjas. Dispositivo capaz de transformar la radiación para su aprovechamiento	Colocación de los paneles solares a instalar tomando en cuenta la potencia máxima requerida de los dispositivos, así como la radiación que permite su correcto funcionamiento	
Definir las características técnicas del sistema fotovoltaico y de emergencia que	Norma POASEN, MINAE	Es un instrumento jurídico nacional creado con el fin de regular la generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación	Regulación de la actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, de forma que su implementación contribuya con el modelo eléctrico del país, y se asegure la prestación óptima del servicio de suministro eléctrico	Revisión Bibliográfica

mejor cumplan con las Normas vigente en el país		medición neta sencilla	que se brinda a todos los abonados	
	Código Eléctrico Nacional	Es un instrumento jurídico nacional creado con el fin de salvaguardar las prácticas de las personas y de los bienes, de los riesgos que se derivan de una inadecuada instalación eléctrica o del uso de materiales y equipos para el uso de la electricidad	Establecer las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades	Revisión Bibliográfica
Establecer cuáles son las cargas críticas en caso de falta de fluido eléctrico, para dimensionar el sistema de emergencia utilizando celdas de combustible	Planta Generadora	Son las instalaciones productoras de energía eléctrica, es decir, son instalaciones donde hay un conjunto de máquinas motrices y aparatos que se utilizan para generar energía eléctrica	Equipo con capacidad de transformar mediante reacciones químicas el movimiento de un motor en energía eléctrica	Cálculos matemáticos y Datos técnicos de los equipos entrevista.
	Fluido Eléctrico	Es la energía entregada por el generador eléctrico del país	Utilizado para mantener el funcionamiento normal de los equipos	

	Sistema de Emergencia	Es el servicio encargado de dar respuesta asistencial a las urgencias y emergencias para suplir la demanda de las cargas más críticas	Sistema capaz de entrar en funcionamiento cuando hay un corte de fluido eléctrico para suplir la demanda de las cargas más críticas	
Determinar las características técnicas y comerciales por medio de visitas y reuniones a diferentes proveedores y vendedores de paneles solares y celdas de combustible.	Panel Solar	Es una porción, generalmente cuadrada o rectangular, de una superficie, que está limitada mediante molduras o franjas. Dispositivo capaz de transformar la radiación para su aprovechamiento	Colocación de los paneles solares a instalar tomando en cuenta la potencia máxima requerida de los dispositivos, así como la radiación que permite su correcto funcionamiento	Revisión Documental
Comprobar cuál es el retorno de la inversión, haciendo el análisis financiero y comparándolo con los gastos de facturación del servicio eléctrico actual.	Análisis Financiero	Es una evolución de la viabilidad, estabilidad y rentabilidad de un negocio o proyecto	Determinar si la inversión inicial realizada se va a recuperar en un tiempo congruente	Revisión Documental
	Facturación anual de consumos eléctricos de la estación Riteve San Miguel	Cuenta en la que se detallan los servicios recibidos, junto con su cantidad y su importe, y que se entrega a quien debe pagarla	Visualización del consumo eléctrico en un lapso medido en kwh y el costo monetario que se debe de pagar	

### **3.5. Instrumentos**

Para el desarrollo de esta parte de la investigación se realizará la revisión documental de la Facturación anual de consumos eléctricos de la estación Riteve San Miguel esta es la cuenta en la cual se detallan los servicios recibidos, junto con su cantidad y su importe, esta se entrega a quien debe pagarla.

Por otro lado, se lleva a cabo la utilización de la medición de la radiación solar de energía emitida en el espacio interplanetario del Sol basado en la ubicación geográfica de la Estación de San Miguel.

Al mismo tiempo, se observan los paneles solares que son una porción, generalmente cuadrada o rectangular, de una superficie limitada mediante molduras o franjas y como un dispositivo capaz de transformar la radiación para su aprovechamiento.

La revisión bibliográfica es un instrumento que permitió conocer las diferentes teorías de las cuales se obtuvo obtener la información necesaria para el funcionamiento, partes principales, tipos de sistemas y matemática financiera.

Cálculos matemáticos del número de paneles e inversores, agrupamiento de estos, peso dimensiones, conductores, protecciones, soportes, cálculos financieros para determinar el VAN y el TIR.

La entrevista realizada a los gerentes para determinar si es viable la implementación de los sistemas.

### **3.6. Proceso para la Recolección y Análisis de Datos**

Se le solicitó a la gerencia de la empresa Riteve los recibos eléctricos que emite la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) correspondientes a la facturación mensual del año 2018, para conocer los consumos de electricidad.

Por medio de la aplicación PVsyst se obtuvo los datos de radiación solar de la zona.

Se realizó consultas a diferentes proveedores de sistemas fotovoltaicos para determinar el sistema que se adapte mejor al diseño.

Se realizó la revisión bibliográfica de diferentes documentos que facilitan el estudio de la implementación de sistemas fotovoltaicos, así como las leyes vigentes en el país (POASEN, NEC 2018 ARESEP Y MINAE).

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Diagnóstico

#### 5.1.1 Ubicación Geográfica

La estación de RTV está ubicada en San Miguel de Santo Domingo de Heredia según datos obtenidos de Google Maps en las siguientes coordenadas  $9^{\circ}59'29.2''N$   $84^{\circ}02'14.1''W$ , 9.991431,-84.037256. En Heredia la temporada de lluvia es húmeda y nublada, la temporada seca es parcialmente nublada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de  $17^{\circ}C$  a  $28^{\circ}C$  rara vez baja menos de  $15^{\circ}C$  o sube más de  $29^{\circ}C$ . (Weatherspark, s.f.)

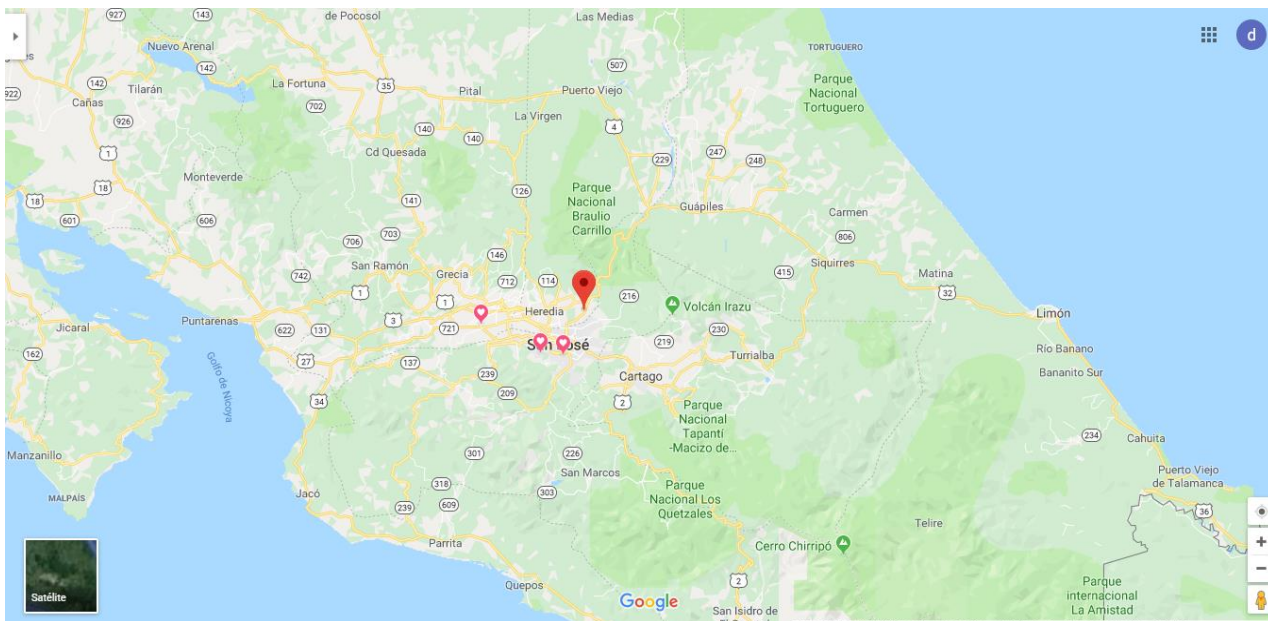


Figura 36. Ubicación geográfica de la estación. (Google Maps, 2019)

### 5.1.2. Radiación Solar

Conocer este dato es de suma importancia en la elaboración del diseño, ya que según esto se puede tomar o no la decisión de implementar sistemas fotovoltaicos y la capacidad que tendrán estos de aprovechar el máximo de radiación solar. La radiación solar de la ubicación propuesta es la mostrada en la figura 34, visualizada en forma global de todo el país.

En el caso de Heredia, el periodo más resplandeciente del año dura 2,3 meses, del 5 de febrero al 15 de abril, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de 6,2 kWh. El periodo más oscuro del año dura 5,9 meses, del 21 de mayo a 16 de noviembre, con una energía de onda incidente diaria promedio por metro cuadrado de menos de 4,4 kWh. (Weatherspark, s.f.)

En la figura 35 se muestra los valores de radiación solar diaria por mes y específicamente de la ubicación de la estación, en donde se puede ver claramente como el mes de noviembre es el más baja la radiación solar con una radiación de 4,48 kWh/m<sup>2</sup>·día y el mes de mayor incidencia es abril con 5,99 kWh/m<sup>2</sup>·día. Datos tomados de la aplicación PVsyst V6.79.

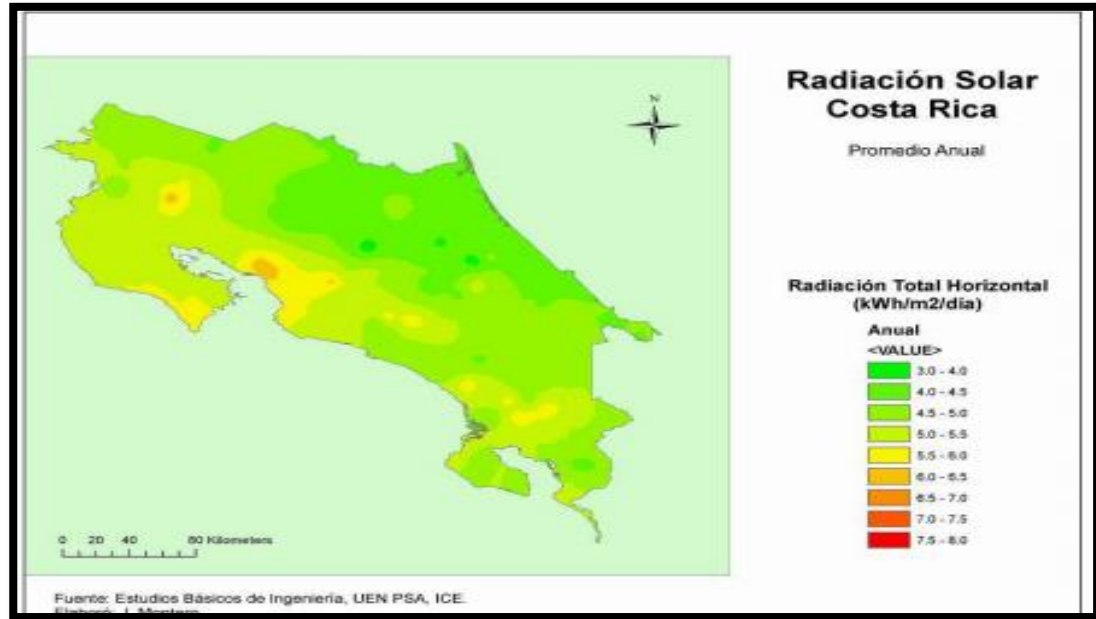


Figura 37. Mapa de la radiación solar en Costa Rica. (Mendez, 2015)

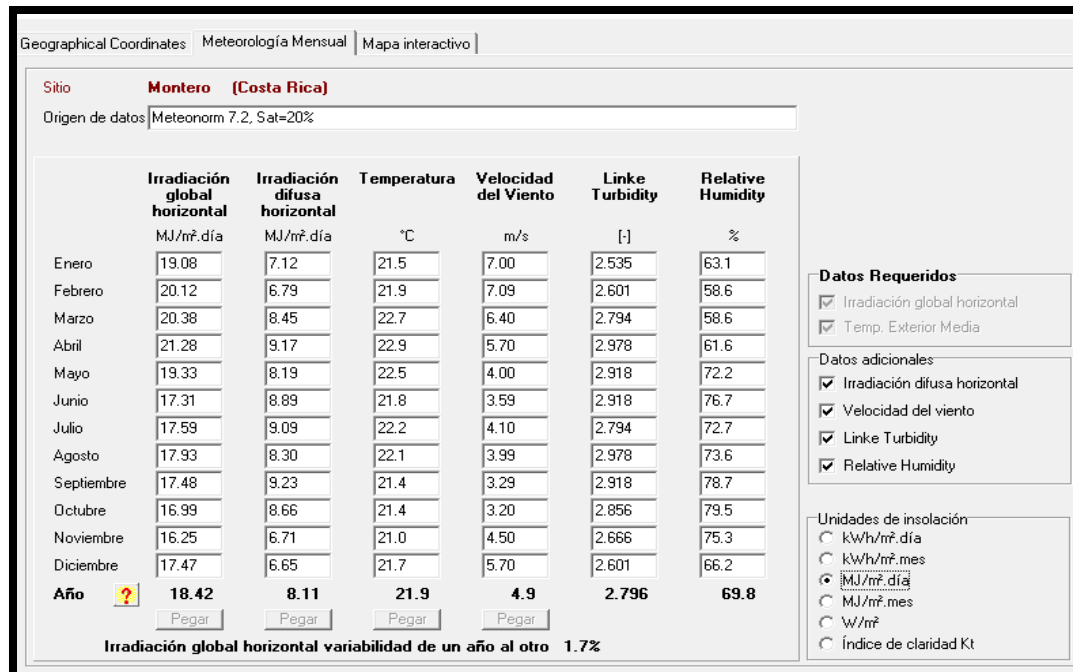


Figura 38. Radiación Solar diaria. San Miguel Santo Domingo de Heredia (MJ/m2dia)

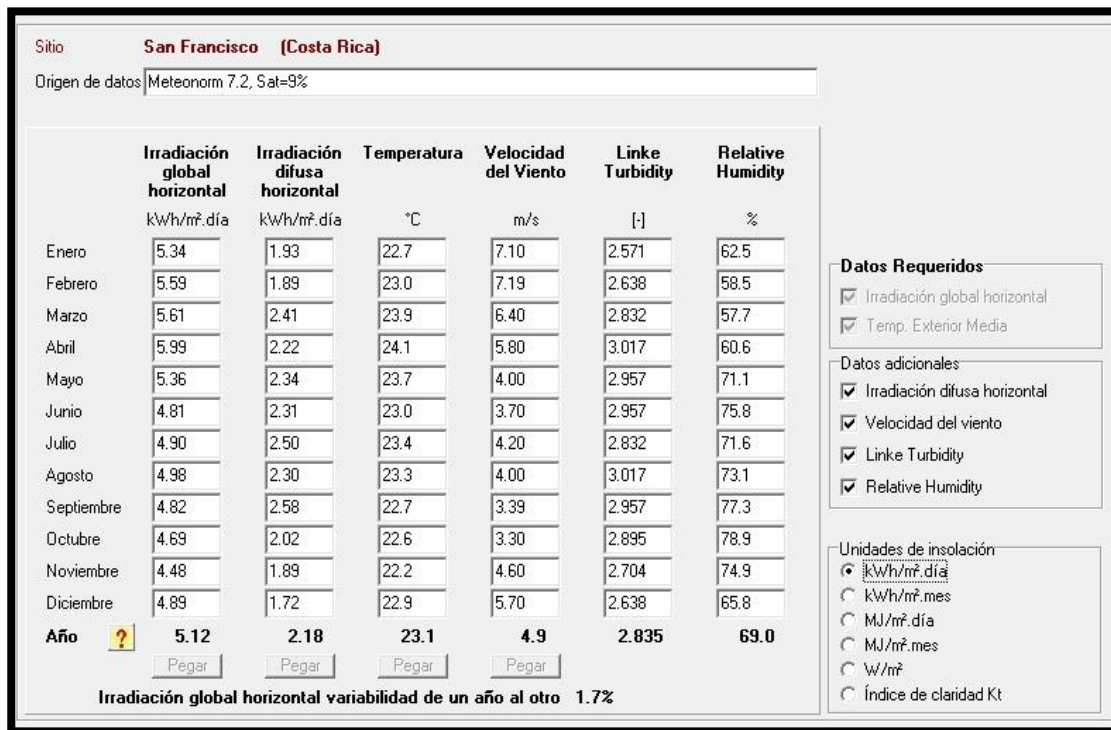


Figura 39. Radiación Solar diaria. San Miguel Santo Domingo de Heredia  
 (kWh/m<sup>2</sup>dia)

### 5.1.3. Ubicación de los paneles solares

La colocación de los paneles solares en el techo de la estación en la figura 37 se puede ver cuál es el área disponible para la colocación de los sistemas fotovoltaicos teniendo un área disponible de 1393 m<sup>2</sup>.



Figura 40. Vista área de la estación para determinar área de techo. (Google Maps, 2019)

#### 5.1.4. Consumos mensuales de corriente electricidad la estación de RTV.

Al tomar los datos otorgados por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), desde los meses de enero 2018 hasta diciembre 2018.

<i>Mes</i>	<i>Consumo eléctrico mensual (kW h/mes)</i>	<i>Pago por facturación ¢</i>
Enero	<b>5160</b>	<b>¢662980.0.00</b>
Febrero	<b>5520</b>	<b>¢704715.0.00</b>
Marzo	<b>6120</b>	<b>¢790440.0.00</b>
Abril	<b>5880</b>	<b>¢791000.0.00</b>
Mayo	<b>5760</b>	<b>¢751905.0.00</b>
Junio	<b>6000</b>	<b>¢779865.0.00</b>
Julio	<b>6720</b>	<b>¢853495.0.00</b>
Agosto	<b>7320</b>	<b>¢938135.0.00</b>
Septiembre	<b>6120</b>	<b>¢821340.0.00</b>
Octubre	<b>6840</b>	<b>¢878775.0.00</b>
Noviembre	<b>6000</b>	<b>¢800135.0.00</b>
Diciembre	<b>6000</b>	<b>¢779220.0.00</b>
Promedio anual (kWh/mes)	<b>6120</b>	
<i>Total, anual ¢</i>	<b>73440</b>	<b>¢9552005.0.00</b>

*Tabla 1 Facturación anual 2018. Fuente propia.*

De la tabla 1 se observa como el mes de mayor consumo eléctrico es agosto con un total de 7320 kW/h por mes. También se aprecia como en noviembre se requiere una alta cantidad de consumo eléctrico 6000 kW/h, pero contrasta con el hecho de que es el mes de menos radiación solar incidente.

### **5.1.5. Cargas Críticas en Estaciones de Revisión Técnica Vehicular.**

Como diseño complementario se contempló instalar celdas de combustible para momentos en los que hay faltantes de corriente eléctrica, pero haciendo un estudio con dos proveedores en este caso Cotisa y Greenenergy este tipo de tecnologías todavía no están disponibles en el país. Entonces se decidió en cambiar por una planta generadora de Diesel.

Esto es de suma importancia, ya que la empresa tiene el compromiso con el estado de atender a los clientes quienes requieren del servicio. Se ha dado el caso que hay cortes de energía, y no se puede atender a los clientes provocando malestar, y redirigirlos a otras estaciones ocasionando traslados y provocar gastos de combustible y de tiempo.

Con la implementación de una planta, se busca que en estos faltantes por lo menos se atiendan a las personas que ya están dentro de las líneas de inspección e incluso quienes en ese momento tenían la cita.

Eso si hay que hacer una distinción de cuáles son los equipos necesarios para seguir operando, que en este caso sería las cargas más críticas. Las estaciones de revisión técnica del GAM están compuesta por 6 líneas de inspección divididas todas ellas por diferentes etapas. Después de hacer un análisis se ha determinado que las líneas de inspección que puedan seguir funcionando son las líneas 2, 5, 6, al ser estas líneas capaces de realizar la revisión de la mayoría de los vehículos que llegan a la estación. Además de los equipos de inspección deben de seguir funcionando el área administrativa.

Los equipos se componen cada una de estas líneas se detallan a continuación:

- *Línea N° 2*

	<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Características</b>
Computadora		1	0.15	
Máquina de gases 1	Maha	1	0.13	85/285 V 60 Hz
Banco de suspensión	Maha	1	2x1.1	1Ø 230/400 60Hz
Frenometro vehículo liviano	Maha	1	2x4	3Ø 230/400 60Hz
Detector de holguras	Maha	1	2.5	Motor de unidad Hidráulica 230 V 3Ø 60Hz
Frenómetro motocicletas	Maha	1	1x4	1 motor 3Ø 230/400 60Hz
Máquina de gases 2	Maha	1	0.13	85/285 V 60 Hz
Computadora		1	0.15	
Impresora	Ricoh	1	0.1	
TOTAL			17.36	

Tabla 2. Equipos de inspección. Fuente propia.

- *Líneas 5 y 6*

	<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Características</b>
Computadora		2	0.15	
Máquina de gases 1	Maha	2	0.13	85/285 V 60 Hz
Banco de suspensión	Maha	2	2x1.1	2 motores 3Ø 230/400 60Hz
Frenómetro universal	Maha	2	2x11	2 motores 3Ø 230 V 50Hz
Detector de holguras	Maha	2	2.5	Motor de unidad Hidráulica 230 V 3Ø 60Hz
Máquina de gases 2	Maha	2	0.13	85/285 V 60 Hz
Computadora		2	0.15	
Impresora	Ricoh	2	0.1	
TOTAL			54.72	

Tabla 3. Equipos de inspección. Fuente propia.

Cabe destacar que en los motores se “debe de tener el pico de arranque” según la norma NEC para dimensionar la planta generadora tabla 4.

**TABLE 430.250 Full-Load Current, Three-Phase Alternating-Current Motors**  
 The following values of full-load currents are typical for motors running at speeds usual for belted motors and motors with normal torque characteristics.  
 The voltages listed are rated motor voltages. The currents listed shall be permitted for system voltage ranges of 110 to 120, 220 to 240, 440 to 480, and 550 to 600 volts.

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
1/2	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
3/4	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1 1/2	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7 1/2	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

\*For 90 and 80 percent power factor, the figures shall be multiplied by 1.1 and 1.25, respectively.

Tabla 4. Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna. (NFPA 70. Código Eléctrico Nacional, 2008)

### 5.1.5.1. Cálculo de cargas críticas y planta generadora

A partir de los resultados de cargas críticas mostradas en las tablas 2 y 3 resulta el total de cargas instaladas que sería:

$$17.26 \text{ kW} + 54.72 \text{ kW} = 71,98 \text{ kW}.$$

Se le puede agregar un 25% de la potencia para poder suplir los picos de corrientes del arranque de los motores:

$$71.98 \text{ kW} \times 25\% = 17.995 \text{ kW}$$

$$71.98 + 17.995 = 90 \text{ kW}$$

Para calcular el generador se utilizará:

$$S(\text{KVA}) = P_w / (1000 \times \text{PF})$$

$$S(\text{KVA}) = \frac{90000 \text{ w}}{1000 \times 0,8} = 112,5 \text{ kVA}$$

La utilización de una planta generadora no es necesaria para la empresa ya que cuando la empresa firmó el contrato con el estado en el 2001 por estar las estaciones ubicadas en zonas industriales el gobierno adquirió el compromiso de suplir el 100% de la energía en forma ininterrumpida, también se determinó que el costo del beneficio no es viable ya que el retorno de esa inversión (recaltar que son 17 estaciones en el país) es muy alto y la posibilidad de cortes de energía en el lapso de un año son muy bajos, alrededor de dos veces por año; y de muy corta duración, sí es un corte programado se renta una planta generadora. Todas estas afirmaciones se obtuvieron por medio de una entrevista realizada al subgerente de operaciones Gil Edwards.

## 5.2. Cálculo de la cantidad de paneles solares.

Para el cálculo del número de paneles se debe utilizar la fórmula 7, al tener a mano los datos necesarios para su cálculo. En donde el valor de E se tomará del promedio anual de consumos de la estación que equivale a 6120 kWh/mes, pero este dato se debe de convertir al consumo diario, en otras palabras, bastará solamente con dividir este dato entre el número de días del mes:

$$\frac{6120kWh}{30} = 204 \text{ kwh/días}$$

El valor del dato de horas solar pico (HSP), se tomará de la figura 36, en donde el mes de menor horas de irradiación solar es noviembre con 4,48 kWh/m<sup>2</sup>·día.

El panel solar seleccionado para los cálculos es marca JINKO JKM365M-72 con una potencia nominal de 365 Wp, ver apéndice 2.

Teniendo todos los datos se puede despejar la fórmula (7):

$$Np = \frac{204000W}{0.9 \times 365 \times 4,48} = 138,61 \text{ paneles.}$$

## 5.3. Cálculo de potencia producida por el número de paneles.

Con el número de paneles solares capaces de satisfacer la demanda de energía, se procede a calcular la potencia que el número de paneles producen mensualmente. Para realizar una comparación entre la energía demandada por la estación y la producida por

el sistema fotovoltaico. Este cálculo se realiza multiplicado el número de paneles instalados por la potencia pico de cada uno de ellos:

$$N_p * WP = \text{potencia producida (W)}$$

$$138,61 * 365W = 50592.65W$$

Este arreglo de paneles va producir 50595.23 W, pero se debe de calcular el valor de la potencia producida por mes tomando en cuenta las HSP de cada uno de los meses y el número de días de cada mes. Se puede ver la potencia producida por los meses en la tabla 4.

<b>Potencia Producida por los paneles</b>				
MES	HSP	POTENCIA PRODUCIDA(W)	NUMERO DE DIAS	POTENCIA PRODUCIDA POR MES (kWh/mes)
ENERO	5.34	50593	31	8375
FEBRERO	5.59	50593	28	7919
MARZO	5.61	50593	31	8799
ABRIL	5.99	50593	30	9091
MAYO	5.36	50593	31	8406
JUNIO	4.81	50593	30	7301
JULIO	4.9	50593	31	7685
AGOSTO	4.98	50593	31	7810
SEPTIEMBRE	4.82	50593	30	7316
OCTUBRE	4.69	50593	31	7356
NOVIEMBRE	4.48	50593	30	6800
DICIEMBRE	4.89	50593	31	7669
Promedio anual				94527

Tabla 4 Potencia producida por los paneles. Fuente propia

A la luz de estos datos se puede hacer una comparación entre la energía demanda por mes y la energía producida por el sistema fotovoltaico.

MES	DEMANDA kW	Producción paneles kW	% de diferencia
ENERO	5160	8375	162
FEBRERO	5520	7919	143
MARZO	6120	8799	144
ABRIL	5880	9091	155
MAYO	5760	8406	146
JUNIO	6000	7301	122
JULIO	6720	7685	114
AGOSTO	7320	7810	107
SEPTIEMBRE	6120	7316	120
OCTUBRE	6840	7356	108
NOVIEMBRE	6000	6800	113
DICIEMBRE	6000	7669	128
TOTAL	73440	94532	129

Tabla 5. Tabla comparativa consumo real v r s producción de paneles. Fuente propia.

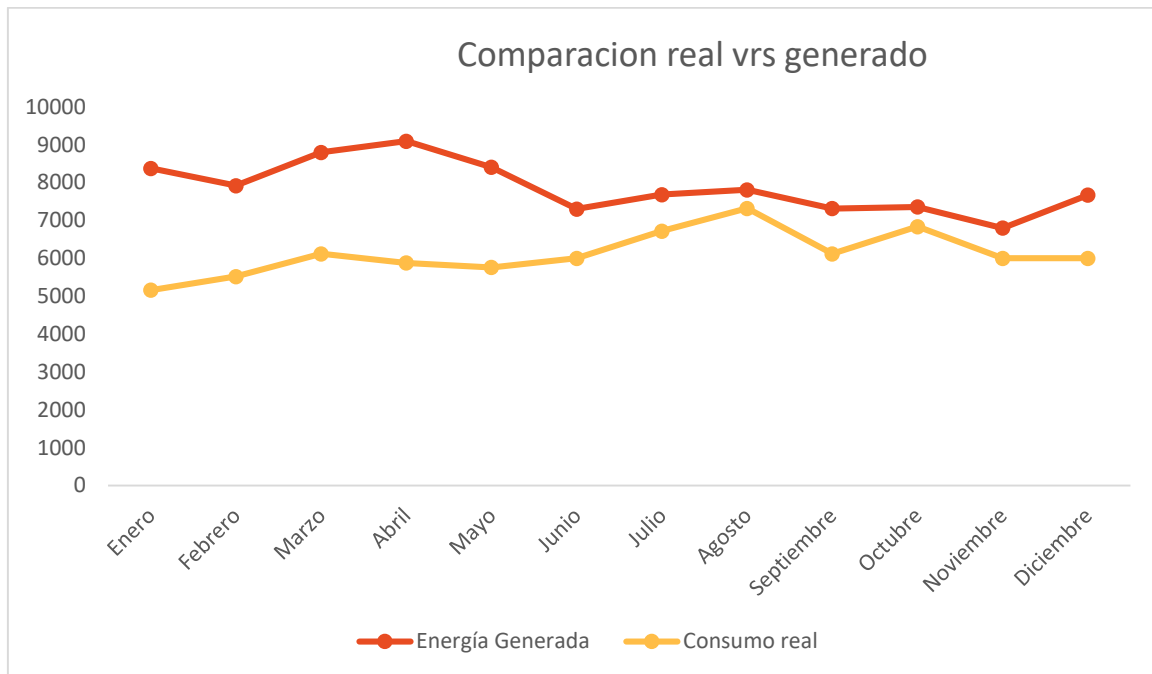


Tabla 6. Gráfica comparativa de consumo real vrs generado.

Se puede observar como en la mayoría de los meses se produce más energía de la necesaria, por lo tanto, los meses de verano: enero, febrero, marzo, abril y mayo se da un incremento de energía generada esto por la alta incidencia de radiación solar. Y en promedio se genera un 29 % más de la energía consumida anualmente.

Es importante determinar la energía consumida durante la noche ya que la estación tiene un horario extendido de 15 horas diarias, y tomando en cuenta que por día hay HSP 5,12 kWh/m<sup>2</sup>·día de manera que durante estas horas de Sol pico no se paga nada por la corriente consumida el resto del tiempo si se debe de pagar por la energía consumida. Esta energía se puede calcular de la siguiente manera:

$$\frac{6120kWh}{30} = 204 \text{ kwh/dias.}$$

De aquí es visualizado el consumo promedio diario de la estación. Si es hecha la división de las horas de trabajo para calcular cual es el promedio de consumo por horas será:

$$\frac{204kW}{15 \text{ horas}} = 13.6 \text{ kWh}$$

Seguidamente se calcula cual es la energía necesaria para utilizar durante las 5,12 que equivale a las horas de Sol que no se paga la energía consumida:

$$13.6 \text{ kWh} \times 5,12 \times 30 = 2088,96 \text{ kWh/mes}$$

De este resultado se calcula la energía necesaria que hay que bajar de la red el tiempo que no hay tanta irradiación solar, esto será la energía total producida menos la energía consumida en las horas pico:

$$6120 - 2088,96 = 4031,04 \text{ kWh/mes}$$

#### **5.4. Cálculo del Inversor.**

Para el cálculo de los inversores se tiene que tomar en cuenta la forma en la cual se va a hacer la conexión. Al respecto existen dos formas de conexión:

- Instalaciones conectadas a la red
- Instalaciones aisladas.

##### **5.4.1. Cálculo de inversor para instalación conectada a la red.**

Se va a seleccionar el inversor de la marca FRONIUS SYMO 15.0-3-M anexo 1, este inversor produce una onda senoidal pura, ideal para el tipo de cargas presentes en la estación. Este inversor tiene una potencia máxima de salida de 15 kW.

Para calcular cuántos inversores se necesitan para manejar la potencia máxima del arreglo será:

$$N_{inv} = \frac{\text{potencia instalada}}{\text{potencia max inversor}}$$

$$N_{inv} = \frac{50593 \text{ W}}{15000 \text{ W}} = 3,353$$

Para hacer el cálculo de cuantos módulos se pueden conectar a cada uno de los inversores se utiliza la fórmula:  $P_{inv} = W_p \times NP$

$$NP = \frac{P_{inv}}{W_p}$$

$$NP = \frac{15000W}{365W} = 41$$

#### 5.4.2. Configuración de conexión de paneles solares.

Gracias a este dato se deduce que se pueden conectar 41 paneles por cada uno de los inversores. Pero determinado esto por la configuración de conexión seleccionada.

Para conectar los paneles se va a utilizar la conexión mixta, para determinar cómo van ser las configuraciones de series y paralelos se utiliza las siguientes fórmulas:

- Conexiones en serie:

$$\text{Número de filas serie: } \frac{V_{inv}}{V_m}$$

$V_{inv}$ : Voltaje nominal de inversor.

$V_m$ : Voltaje nominal del módulo

$$\text{Número de filas serie: } \frac{600}{48.2} = 12.44$$

- Conexiones en paralelo:

$$\text{Columnas en paralelo: } \frac{I_{inv}}{I_m}$$

$$\text{Columnas en paralelo: } \frac{33}{9.57} = 3,44$$

Para un inversor se pueden conectar 13 paneles solares en serie y cada una de estas series se conectan en 3 ramas paralelas. Dando un total de 39 paneles por cada uno de los módulos.

Como se ha visto ésta es la configuración propuesta para el diseño, se puede observar como quedan 3 columnas de 13 módulos conectados en serie produciendo un voltaje de 578 V estando este valor en el rango permitido por el inversor que es de 600 V y tres ramas en paralelo que producen un valor de corriente de 28.71 A, siendo la corriente máxima admisible por el inversor de 33 A.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1													
2													
3													

*Figura 41. Colocación de los paneles solares en el techo.*

La orientación de los paneles se deduce al tomar en cuenta los siguientes criterios:

Utilización	Ángulo de inclinación
Todo el año	Latitud del lugar
Invierno	Latitud del lugar +10°
Verano	Latitud del lugar -10°

Figura 42. Criterios para Ángulo de inclinación. (Tobajas, 2018)

Entonces según la latitud de este país, 10 grados es la inclinación ideal y dirigidos hacia el Sur para la máxima eficiencia de los módulos.

Para calcular la distancia mínima entre los paneles para evitar las sombras entre ellos está determinada por la fórmula 9:

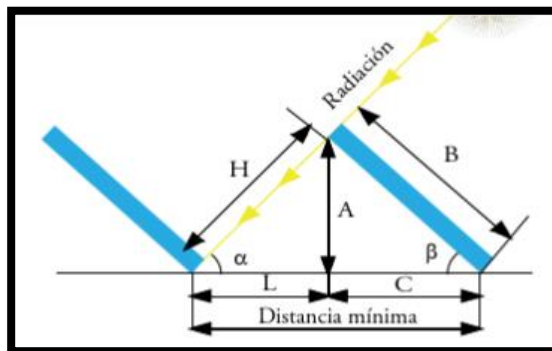


Figura 43. Cálculo trigonométrico de la inclinación. (Tobajas, 2018)

$$d = B \times \cos\beta + \frac{B \times \sin\beta}{\tan\alpha_{\min}}$$

$$d = B \times \cos\beta + \frac{B \times \sin\beta}{\tan\alpha_{\min}}$$

Para calcular  $\alpha$  min:  $(90^\circ - \text{latitud del lugar}) - \text{declinación del solar}$ .

$$\alpha \text{ min: } (90^\circ - 10^\circ) - 23,09^\circ = 56,91^\circ$$

$$d = 2,015 \times \cos 10 + \frac{2,015 \times \sin 10}{\tan 56,91} = 2,21 \text{ m.}$$

### 5.4.3. Área total de diseño fotovoltaico.

Es importante determinar el área total que ocuparía un arreglo de paneles para establecer si en el área total de techo se pueden colocar, tomando en cuenta la distancia mínima existente entre cada uno de ellos. Según la ficha técnica de módulo tiene unas dimensiones de 1956mm X 992mm X 40mm.

$$\text{Largo total: } 1,956 \text{ m} \times 13 = 25,42 \text{ m}$$

$$\text{Ancho total: } 0,992 \text{ m} \times 3 = 2,976 \text{ m}$$

$$\text{Largo total: } 1,956 \text{ m} \times 7 = 13,692 \text{ m}$$

$$\text{Ancho total: } 0,992 \text{ m} \times 3 = 2,976 \text{ m}$$

Se tiene un área total por cuanto solo los paneles solares de:

$$3 \times (25,42 \text{ m} \times 2,976 \text{ m}) = 226,94 \text{ m}^2.$$

$$13,692 \text{ m} \times 2,976 \text{ m} = 40,74 \text{ m}^2$$

Se obtiene un área total de paneles solares de 267,68 m<sup>2</sup>.

#### 5.4.3.1 Peso total del arreglo

Es importante determinar cuál es la masa total de todos los paneles solares por instalar en el techo, ya que de aquí se debe de tomar en cuenta si el techo del lugar está en las condiciones adecuadas para soportarlo, se realiza la consulta al Jefe de estación de RTV Cartago el

Ingeniero Martin Astúa, Ingeniero Civil quien participó en el diseño de las estaciones en el año 2001, indicó que los techos están diseñados para soportar el peso de él mismo y los vientos que inciden sobre su superficie, si se tiene que instalar esa cantidad de paneles se tiene que reforzar el techo para soportar el peso extra. Que será calculado a continuación.

Según la ficha técnica cada módulo tiene una masa de 22,5 kg.

Arreglo de 39 paneles:  $39 \times 22.5 \text{ kg} = 877 \text{ kg} \times 3 \text{ arreglos} = 2631 \text{ kg}$

Arreglo de 21 paneles:  $21 \times 22.5 \text{ kg} = 472.5 \text{ kg}$

Peso total de paneles = 3103 kg

#### **5.4.4. Cálculo de conductores y protecciones**

Se debe de hacer los cálculos de los conductores y las protecciones a instalar en el sistema de paneles solares basándose en el Código Eléctrico Nacional NEC (2008).

##### **5.4.4.1. Cálculo de conductores en DC**

Para conexiones en serie, según la conexión de los paneles, hay que recordar que el valor de corriente es el mismo para todo el sistema y en conexiones en paralelo se debe de sumar las corrientes de tal manera que para los paneles por utilizar este valor es de  $9,57 \times 3 = 28,71$ .

Por lo tanto, dice el NEC (2008), artículo 690.8(B)(1): la corriente máxima debe ser la suma de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo multiplicado por 125%.

$28,71 \text{ A} \times 125\% = 35,88 \text{ A}$ .

Según la tabla 310.16 NEC 2008.

Número 8 AWG THHN CU.

#### **5.4.4.2. Cálculo de sobre tensión en DC**

El inversor por utilizar posee internamente las protecciones contra sobre corrientes como se puede ver en la ficha técnica apéndice 1.

#### **5.4.4.3. Cálculo de conductor AC**

Según el NEC 2008 690.10 (B): los conductores del circuito entre la salida del inversor y el medio de desconexión del edificio o estructura deben ser dimensionados con base en el valor nominal de salida del inversor. Y según el artículo artículo 690.8(B)(1):

$$I_{AC} = I_{max} * 125\%$$

$$I_{AC} = 21,7 \text{ A} * 125\% = 27,125 \text{ A.}$$

Según la tabla 310.16: conductor #10 AWG THHN CU.

#### **5.4.5.4. Protección AC**

Según el artículo 240.6 NEC 2008, se debe de utilizar un dispositivo de protección de disparo fijo de 30 A.

#### **5.4.5.5. Conductor Puesta a tierra**

Según la tabla 250.122 NEC 2008 se debe de usar un conductor de puesta a #10 AWG CU.

#### **5.4.5.6. Tubería**

De la tabla 5 NEC 2008: #8=28.19 mm<sup>2</sup>

$$\#10 \times 2 = 15,68 \times 2 = 31,36$$

Área Total: 59,55 mm<sup>2</sup>.

De la tabla 358. Tubería eléctrica metálica(EMT9)

Tubería 1/2 in.

### 5.5. Análisis Financiero

En este apartado corresponde a la realización del análisis financiero del proyecto para comprobar si este resulta ser viable para su implementación en beneficio para la empresa.

Primeramente, se realizará un análisis el cual comprende los consumos de energía que generados por los paneles solares, la energía real consumida basada en las facturaciones anuales del año 2018.

Se tomará en cuenta que el horario de funcionamiento de la planta es 6:00 am a 9:00 pm, y en la zona hay en promedio una HSP de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>-día en las demás horas del día y noche es necesario bajar energía de la red eléctrica ya sea de la propia energía almacenada o propiamente de la producida por él proveedor. Para calcular la facturación se va tomar las tarifas actuales otorgadas por la CNFL con vigencia a partir del 1 de Julio 2019 como se puede ver en el apéndice 5. También la tarifa de acceso que es de ¢17,92 por cada kW retirado mensual según tarifas de la ARESEP para la CNFL según figura 41:

Empresa	Tarifa (col/kWh)
ICE	28,44
CNFL	17,92
JASEC	14,68
ESPH	8,48
COOPELESCA	9,50
COOPEGUANACASTE	15,98
COOPESANTOS	27,13
COOPEALFARO RUIZ	17,96

Figura 44. Tarifas de acceso a la red. (MINAE, 2015)

Tipo de Medidos	Cargo de Interconexión [colones]
Medidor monofásico	48687
Medidor trifásico	542004
Medidor trifásico con registro	1286240

*Figura 45. Tarifas de interconexión a la red. (MINAE, 2015)*

Con estos datos se calculan los flujos de efectivo anualmente y al tomar 20 años de vida útil de los paneles solares y 7 años para los inversores (necesario remplazarlos en el año 7 y 14), una inflación anual de 5%, 1% por disminución anual de eficiencia de los paneles solares. También se debe de tomar en consideración otros cargos fijos como son: pérdidas por transformación, alumbrado público, impuesto al valor agregado y el tributo a los bomberos, se estima que estos costos son aproximadamente el 15% del pago de facturación mensual.

Se utilizarán las fórmulas del VAN y del TIR para realizar los cálculos del retorno de la inversión y con los criterios de decisión se demostrará la viabilidad del proyecto.

### 5.5.1. Cotización del sistema fotovoltaico

DETALLE	MARCA	MODELO	POTENCIA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Panel solar	Jinko	JKM365M- 72	365	\$ 185,10	138	\$25543,8
Inversor	Fronius	Primo 15	15000	\$4655,30	4	\$18621,2
Estructura	CK-FT- 7R4200			\$29	40	\$1160
TOTAL \$						\$45325
TOTAL ¢						¢26,384,135.75
DETALLE	MARCA	MODELO	POTENCIA	PRECIO UNI	CANTIDAD	TOTAL
PANEL SOLAR	JINKO	JKM365M- 72	365	107728.2	138	14866491.6
INVERSOR	FRONIUS	PRIMO 15	15000	2709384	4	10837536
ESTRUCTURA	CK-FT- 7R4200			16878	60	1012680
MODULO CONECTOR	MC4			8533	138	1177554
CONECTOR PUESTA A TIERRA	Nsp-g-gl-3			1200	138	165600
CONECTOR A TIERRA JUMPER				917	70	64190
CONDUCTOR DC	SOUTHWIRE	N°8 AWG THNN CU		579	50 mts Rojo	28950
				579	50 mts Negro	28950
CONDUCTOR AC	SOUTHWIRE	N° 10 AWG THNN CU			30 mts rojo	10746
					30 mts negro	10746
					30 mts blanco	10746

CONDUCTOR A TIERRA					30mts verde	10746
PROTECCION AC	SCHNEIDER	120/240 AC2P 40A		51087	4	207228
MEDIDOR BIDIRECCIONAL						250000
						¢28682164

Tabla 7. Inversión Inicial de paneles solares.

Como se puede ver en la tabla 7 la inversión inicial es de 45325 dólares a un tipo de cambio según el Banco Central de Costa Rica (BCCR) de ¢582.11 es 28,682,164 colones, pero a esta inversión inicial por la compra del sistema fotovoltaico se le debe de sumar un 15% de más por la mano de obra e instalaciones eléctricas y la tarifa de interconexión a la red y el pago del medidor bidireccional según figura 42:  $542000 + ¢28682164 + ¢4302324 = ¢31,133,759.75$ .

### 5.5.2. Cálculo de ahorro anual

Se realiza un análisis de los consumos anuales con y sin sistema fotovoltaicos para determinar cuál es el ahorro anual. Como se puede ver en la tabla 8.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía Almacenada	0	1621	2032	2383	2833	2775
Energía Generada	8338	7884	8760	9051	8369	7268
Energía Consumida	5160	5520	6120	5880	5760	6000
Energía requerida en el día	1761	1884	2089	2007	1966	2048
Energía requerida noche	3399	3636	4031	3873	3794	3952
Energía Subida a la red	3178	2364	2640	3171	2609	1268
Energía bajada de la red comercial	1841	1683	1742	1151	1127	1970
Máxima energía disponible de la red propia (49%)	1557	1953	2289	2722	2667	1982

Cargos fijos corriente*	99447	105707	118566	118650	112786	116980
Energía sobrante almacenada siguiente mes	1621	2032	2383	2833	2775	2062
Facturación con paneles	357564	351141	377339	311365	301503	398840
Facturación sin paneles	662980	704715	790440	791000	751905	779865

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2062	1527	1011	1109	812	807
7651	7776	7284	7323	6770	7636
6720	7320	6120	6840	6000	6000
2294	2499	2089	2335	2048	2048
4426	4821	4031	4505	3952	3952
931	456	1164	483	770	1636
2959	3850	2965	3725	3177	2755
1467	972	1066	780	775	1197
128024	140720	123201	131816	120020	116883
1527	1011	1109	812	807	1246
524292	639439	513033	611498	531085	482791
853495	938135	821340	878775	800135	779220

Tabla 8. Análisis de consumos anual. Fuente propia.

AHORROS	
SIN PANELES	₡ 9,552,005
CON PANELES	₡5,399,888
AHORRO ANUAL	₡4,152,117

Tabla 9. Ahorro Anual. Fuente propia.

Como se puede observar en la tabla se tiene un ahorro anual de ₡4,152117 si se implementa un sistema de con estas características. Y al finalizar el año hay un sobrante de energía de 1246 kW. Esta energía se inyecta a la red y ya no puede ser usada ni almacenada para el siguiente periodo de facturación según la normativa del país.

### 5.5.2. Cálculo del VAN y TIR

Para hacer el cálculo de VAN se tiene que determinar el ahorro obtenido durante los 20 años, a saber, la vida útil de los paneles solares, esto se hace al tomar en cuenta una tasa de interés de 9% según consulta realizada al Banco Promerica, un 5% por inflación, una reducción en la eficiencia de los módulos de un 1% anual, y se da cambio de inversores en el año 7 y 14 por alcanzar su vida útil. Este cambio de inversores provoca que en estos años haya ahorros de dinero muy bajo con respecto a los otros años. Como se puede ver en la siguiente tabla:

FLUJO DE CAJA			
AÑO	Factura sin paneles solares	Factura con paneles solares	Ahorro anual
0	0	0	0
1	₡9552005	₡5399888	₡4152117
2	₡10029605	₡5723881	₡4305724
3	₡10531086	₡6067314	₡4463771
4	₡11057640	₡6431353	₡4626287
5	₡11610522	₡6817234	₡4793288
6	₡12191048	₡7226268	₡4964780
7	₡12800600	₡7659844	₡40756
8	₡13440630	₡8119435	₡5321195
9	₡14112662	₡8606601	₡5506061
10	₡14818295	₡9122997	₡5695298
11	₡15559210	₡9670377	₡5888833

12	¢16337170	¢10250600	¢6086570
13	¢17154029	¢10865636	¢6288393
14	¢18011730	¢11517574	¢2494156
15	¢18912317	¢12208628	¢6703688
16	¢19857932	¢12941146	¢6916787
17	¢20850829	¢13717615	¢7133214
18	¢21893370	¢14540671	¢7352699
19	¢22988039	¢15413112	¢7574927
20	¢24137441	¢16337898	¢7799542

Tabla 10. Flujos de caja anual con y sin paneles solares.

- Cálculo del VAN y TIR

VALOR ACTUAL NETO			
	Flujo de efectivo	Valor presente	Valor acumulado
0	-¢31133760	-31133760	-31133760
1	¢4152117	¢3917092	-¢26981643
2	¢4305724	¢3832079	-¢22675919
3	¢4463771	¢3747869	-¢18212147
4	¢4626287	¢3664452	-¢13585861
5	¢4793288	¢3581823	-¢8792573
6	¢4964780	¢3499974	-¢3827793
7	¢40756	¢27105	-¢3787037
8	¢5321195	¢3338584	¢1534158

9	₡5506061	₡3259029	₡7040219
10	₡5695298	₡3180225	₡12735516
11	₡5888833	₡3102164	₡18624349
12	₡6086570	₡3024839	₡24710919
13	₡6288393	₡2948244	₡30999312
14	₡2494156	₡1103168	₡33493469
15	₡6703688	₡2797215	₡40197157
16	₡6916787	₡2722767	₡47113944
17	₡7133214	₡2649022	₡54247158
18	₡7352699	₡2575972	₡61599857
19	₡7574927	₡2503612	₡69174784
20	₡7799542	₡2431934	₡76974327

Tabla 11. Cálculo de VAN, TIR y tiempo de recuperación.

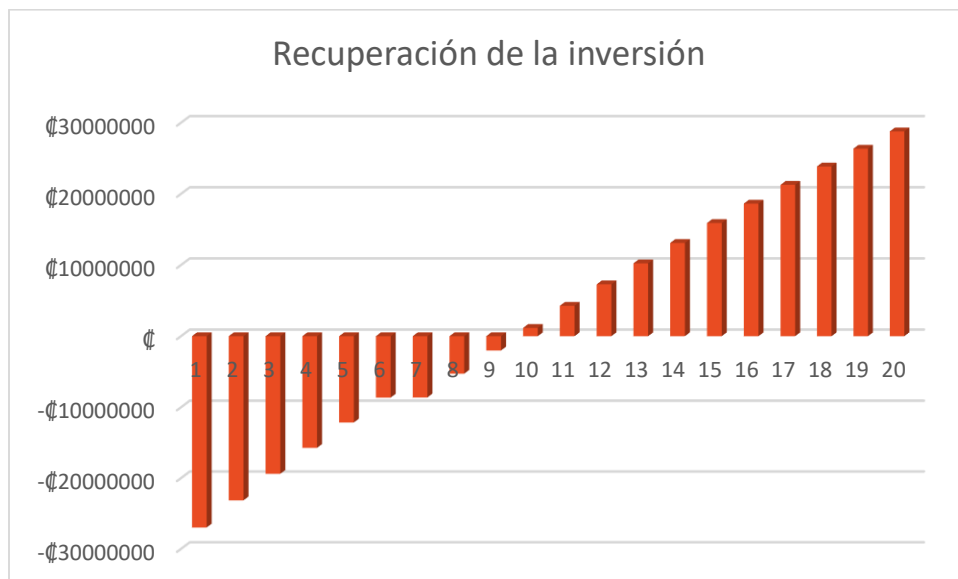


Tabla 12. Tiempo de recuperación de la inversión

Como se puede ver en la tabla 11 y 12 el retorno de la inversión se da en el séptimo año, es decir en el momento en que se comienza a obtener valores positivos, con un valor de ₡1,534,158 y al finalizar el periodo de 20 años se obtiene un VAN positivo con ganancias

de \$13,881,261. En el caso de la TIR el valor obtenido es 14%. Lo cual estos datos demuestran que el proyecto se puede aceptar obteniendo ganancias y al recuperar la inversión en un plazo de 7 años aproximadamente.

### **5.6. Cálculo óptimo de numero de paneles**

Este número de paneles y análisis financiero es realizado con base en 138 paneles calculados anteriormente, pero como es visto en la tabla 8 esa cantidad de paneles producen más energía de la requerida anualmente. Pero esto tiene un inconveniente hacer una alta inversión y además al final del año cuando se da el corte de la facturación hay un sobrante de energía considerable y según la normativa del país esta energía se pierde porque la empresa comercializadora no paga estos excedentes en la producción.

Es por esta razón que hay que optimizar este número de paneles para que la inversión sea más baja, se produzcan ahorros en el periodo y de la inversión y al final del año de facturación no haya excedentes de energía.

#### **5.6.1. Cantidad óptima: 80 paneles solares**

Potencia producida:

$$N_p * WP = \text{potencia producida (W)}$$

$$80 * 365W = 29200W$$

### 5.6.2. Potencia producida por paneles solares

<b>Potencia Producida por 80 Paneles</b>				
<b>MES</b>	<b>HSP</b>	<b>POTENCIA PRODUCIDA(W )</b>	<b>NUMERO DE DIAS</b>	<b>POTENCIA PRODUCIDA POR MES (kWh/mes)</b>
ENERO	5.34	29200	31	4834
FEBRERO	5.59	29200	28	4570
MARZO	5.61	29200	31	5078
ABRIL	5.99	29200	30	5247
MAYO	5.36	29200	31	4852
JUNIO	4.81	29200	30	4214
JULIO	4.9	29200	31	4435
AGOSTO	4.98	29200	31	4508
SEPTIEMBRE	4.82	29200	30	4222
OCTUBRE	4.69	29200	31	4245
NOVIEMBRE	4.48	29200	30	3924
DICIEMBRE	4.89	29200	31	4426
Promedio anual	5.12			54557

Tabla 13. Potencia producida por 80 paneles solares.

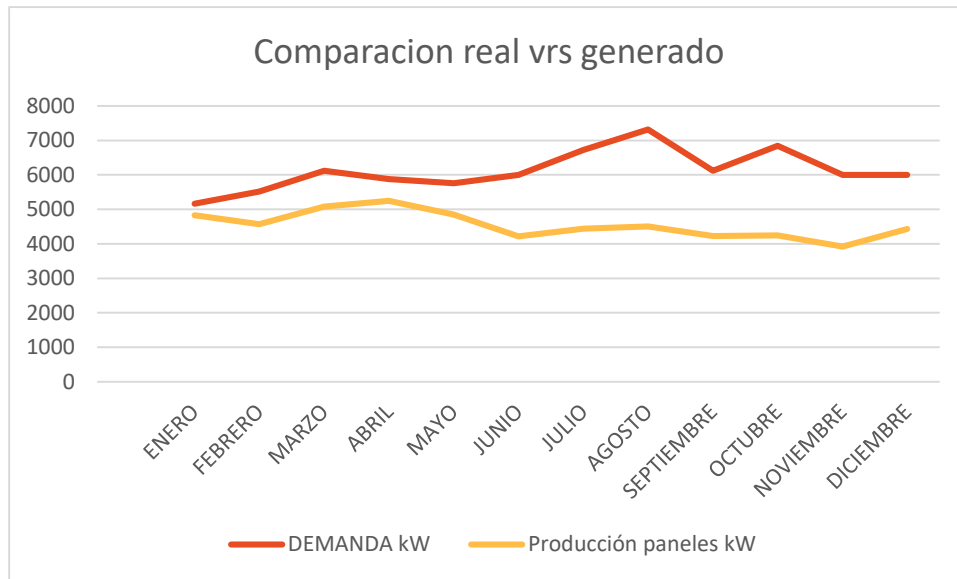


Tabla 14. Comparación consumo real vrs producida.

La tabla demuestra que en todos los meses se produce menos energía que la consumida. Esto significa que se tiene que bajar energía de la red comercial para suplir la demanda energética.

### 5.6.3. Análisis financiero

Se hace el análisis anual de los consumos. No hay excedentes de energía al finalizar el periodo de facturación

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía Almacenada	0	0	0	0	0	0
Energía Generada	4834	4570	5078	5247	4852	4214
Energía Consumida	5160	5520	6120	5880	5760	6000
Energía requerida en el día	1761	1884	2089	2007	1966	2048
Energía requerida noche	3399	3636	4031	3873	3794	3952
Energía Subida a la red	0	0	0	0	0	0
Energía bajada de la red comercial	326	950	1042	633	908	1786
Energía bajada red propia (49%)	0	0	0	0	0	0
Cargos fijos corriente*	99447	105707	118566	118650	112786	116980
Energía sobrante almacenada siguiente mes	0	0	0	0	0	0
Facturación con paneles	140233	224428	248815	197758	226320	340320
Facturación sin paneles	662980	704715	790440	791000	751905	779865

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0	0	0	0	0
4435	4508	4222	4245	3924	4426
6720	7320	6120	6840	6000	6000
2294	2499	2089	2335	2048	2048
4426	4821	4031	4505	3952	3952
0	0	0	0	0	0
2285	2812	1898	2595	2076	1574
0	0	0	0	0	0
128024	140720	123201	131816	120020	116883
0	0	0	0	0	0
413635	492289	360449	456195	379502	313611
853495	938135	821340	878775	800135	779220

Tabla15. Análisis de consumos anual.

En la siguiente tabla se resume el ahorro anual con 80 paneles solares que es de  
 \$5,770,703

AHORROS	
SIN PANELES	₡ 9,552,005
CON PANELES	₡3,552,703
AHORRO ANUAL	₡5,770,703

Tabla16. Análisis de consumos anual.

### 5.6.3.1. Calculo de VAN y TIR

FLUJO DE CAJA			
AÑO	Factura sin paneles solares	Factura con paneles solares	Ahorro anual
0	0	0	0
1	₡9552005	₡3781301	₡5770704
2	₡10029605	₡4008180	₡6021426
3	₡10531086	₡4248670	₡6282415
4	₡11057640	₡4503591	₡6554049
5	₡11610522	₡4773806	₡6836716
6	₡12191048	₡5060234	₡7130814
7	₡12800600	₡5363848	₡3436752
8	₡13440630	₡5685679	₡7754951
9	₡14112662	₡6026820	₡8085842
10	₡14818295	₡6388429	₡8429866
11	₡15559210	₡6771735	₡8787475

12	¢16337170	¢7178039	¢9159131
13	¢17154029	¢7608721	¢9545307
14	¢18011730	¢8065245	¢6946485
15	¢18912317	¢8549159	¢10363157
16	¢19857932	¢9062109	¢10795823
17	¢20850829	¢9605836	¢11244993
18	¢21893370	¢10182186	¢11711185
19	¢22988039	¢10793117	¢12194922
20	¢24137441	¢11440704	¢12696737

Tabla 17. Flujos de dinero.

VALOR ACTUAL NETO		
	Flujo de efectivo	Valor acumulado
0	-20000000	-20000000
1	¢5758450	-¢14567500
2	¢6008437	-¢9220012
3	¢6268647	-¢3956735
4	¢6539455	¢1223126
5	¢6821246	¢6320358
6	¢7114416	¢11335740
7	¢3419370	¢13609816
8	¢7736526	¢18463809
9	¢8066312	¢23238246
10	¢8409164	¢27933879
11	¢8765531	¢32551451
12	¢9135870	¢37091699
13	¢9520651	¢41555352
14	¢6920350	¢44616229
15	¢10335453	¢48928852
16	¢10766457	¢53167028
17	¢11213865	¢57331459
18	¢11678189	¢61422840
19	¢12159947	¢65441861
20	¢12659663	¢69389203

Tabla 18. Años recuperación de la inversión

Con este número de paneles se obtiene un VAN de \$52,832,720 y una TIR del 32% con un tiempo de recuperación de 3 años.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Después de haber concluido esta investigación se determinó que la cantidad óptima de paneles solares para suplir la demanda energética de la estación de Revisión Técnica Vehicular es de 80 paneles solares con una potencia nominal de 365 w, con un peso de 22.5 kg cada módulo con dimensiones de 1956mm X 992mm X 40mm que correspondería a un área de 267.68 m<sup>2</sup>. La irradiación en la zona, según los datos obtenidos, es relativamente baja por las condiciones climatológicas del lugar y su cercanía con las regiones montañosas del país, la cual tiene una radiación pico de 5,12 kWh/m<sup>2</sup>·día. Por lo tanto, se concluye que la empresa Riteve podría generar la suficiente energía para su autoconsumo y subirla a la red para utilizar los recursos tales como espacio de techos y la radiación solar presente.

La característica del lugar se presta para cumplir con la norma del 49% de energía máxima que puede utilizarse y ser generada y que, a fin de año, se dé la cancelación de las facturas.

De esta manera se concluye que, bajo estas características del diseño y condiciones ambientales, la empresa Riteve genera la suficiente energía para su autoconsumo según la normativa.

Se concluye que las celdas de combustible no se van a implementar en el diseño, por tener poca información de ellas por parte de los proveedores en el país, todavía se está en estudios de su utilización. Por otro lado, la utilización de una planta generadora de Diesel tampoco se

implementará porque es un gasto que la empresa no tiene la intención de realizarlo por las razones expuestas en el desarrollo.

Durante el proceso de investigación se realizó reuniones, cotizaciones y solicitudes de información con diferentes empresas comercializadoras de sistemas fotovoltaicos para determinar las características técnicas de los productos; sin embargo, la información no es fácil y no todas las empresas están dispuestas a dar los datos, posiblemente por ser productos de alto costo o querer ser ellos los que realicen los estudios.

Del análisis financiero realizado, se determinó que la implementación de un proyecto como el diseñado es viable, porque se daría un ahorro importante de dinero en promedio de ₡5,770,703 en el primer año comparando el gasto sin los paneles que es de ₡9,552,005 anuales y con los paneles sería de ₡3,552,703. Se obtuvo un VAN de ₡52,832,720 y una TIR del 32% al finalizar los 20 años del proyecto. Se establece que la inversión realizada es de aproximadamente de ₡20,000,000 y se recupera en un plazo de 3 años y partir de ahí, obtener ganancias hasta finalizar la vida útil de los módulos fotovoltaicos.

## **5.2. Recomendaciones**

A la empresa de Revisión Técnica Vehicular se le recomienda la utilización de sistemas fotovoltaicos en sus diferentes estaciones, ya que se comprobó que en la Estación de San Miguel de Santo Domingo la implementación de un sistema como este representa ahorros importantes en la facturación de su servicio eléctrico y una reducción significativa de la dependencia de la red eléctrica nacional.

No obstante, se le recomienda a Riteve realizar el estudio de Generación Distribuida para determinar la viabilidad de la interconexión por autoconsumo CNFL que tiene un costo de 39,550 colones al día. Recordando que según el decreto N ° 39220-MINAE en el artículo

44 dice: “La capacidad máxima de todos los sistemas de generación conectados en un mismo circuito, incluyendo el sistema propuesto, no deberá exceder el quince por ciento (15%) de la demanda máxima anual del circuito”.

Al mismo tiempo, se le recomienda a la Estación de San Miguel el reforzamiento del techo de la estructura del lugar según lo recomendado por ingeniero de la estación de Cartago, con el fin de que este pueda soportar el peso de la instalación de los paneles solares.

Se debe de hacer un estudio estructural del techo para el reforzamiento y conocer cuánto es el monto monetario de este reforzamiento e incluirlo dentro de la inversión inicial, según el ingeniero de la estación hay que colocarle más clavadoras de perling en el techo y ensanchar un poco las cerchas metálicas principales. El estado de las láminas de zinc es bueno, tomar en cuenta que hay láminas de plástico, de manera que ahí no se puede colocar paneles, esto para soportar la sobrecarga extra de los paneles con 22,5 kg y dimensiones de 1,956 X 0,992, con un peso total de los módulos de 1800 kg aproximadamente.

Se le recomienda a la Administración de la empresa, la contratación de una compañía con amplia experiencia en el mercado de paneles solares para la instalación de estos en sus estructuras, no sin antes realizar una previa investigación del mejor sistema de paneles para cada una de las estaciones y de la responsabilidad de cada una de las compañías que trabajan en el tema expuesto.

Se le recomienda a la empresa valorar la implementación de un sistema de respaldo para evitar inconvenientes con los clientes ni pérdida de datos de la inspección técnica realizada a los vehículos. Existe otros sistemas de respaldo en caso de cortes de emergencia tal es el caso de la utilización de una UPS de alta capacidad para soportar las cargas críticas de la estación. La planta generadora y las celdas de combustibles necesitan tiempo para poder entrar en funcionamiento y suplir la demanda energética, las UPS entran en funcionamiento

en el instante en que se presenta el corte de corriente. Pero se requiere hacer una futura investigación de su dimensionamiento e instalación ya que estas requieren cuidados específicos de refrigeración, mantenimiento y ubicación. Como se puede ver en la figura 48 diagrama unifilar en el capítulo de propuesta.

Al Gobierno de Costa Rica se le recomienda revisar el Marco Jurídico establecido para las instalaciones de generación de energía para el autoconsumo, con el fin de mejorar la legislación la cual establece el aprovechamiento de solamente el 49% de la energía generada, pues esto puede ser la causa de que las empresas no quieran invertir en este tipo de sistemas y fomentar así su utilización y mejorar la capacidad de la red eléctrica nacional y aumentar el 15% máximo que estas puedan soportar y así mas empresas y viviendas puedan sumarse a estas tecnologías.

## **CAPÍTULO VI: PROPUESTA**

En este diseño se planteó el diseño de un sistema de generación propia por medio de paneles solares y la implementación de una planta generadora para abastecer el 100% de la energía necesaria de la estación de RTV.

En el caso de la planta generadora, se pensó en la utilización de celdas de combustible, pero en el país este tipo de sistemas todavía no tiene la suficiente facilidad de instalación, en algunos casos, los proveedores indicaban que se estaban haciendo estudios, en un caso de su ingreso al mercado nacional. De manera que se pensó en cambiar las celdas por una planta generadora de diésel, pero una planta de 150 kW tiene un precio en el mercado de aproximadamente 25,000,000 de colones, lo cual provoca que la empresa determine que realizar una inversión de este tipo no es necesaria porque la planta entraría en funcionamiento solo cuando hay cortes de fluido eléctrico y este escenario no es común que suceda. Esta

inversión queda descartada por lo poco rentable de manera que es mejor la renta de una planta generadora cuando haya un corte de fluido eléctrico. Pero para una futura investigación se puede implementar una UPS de respaldo.

➤ **Costo del proyecto**

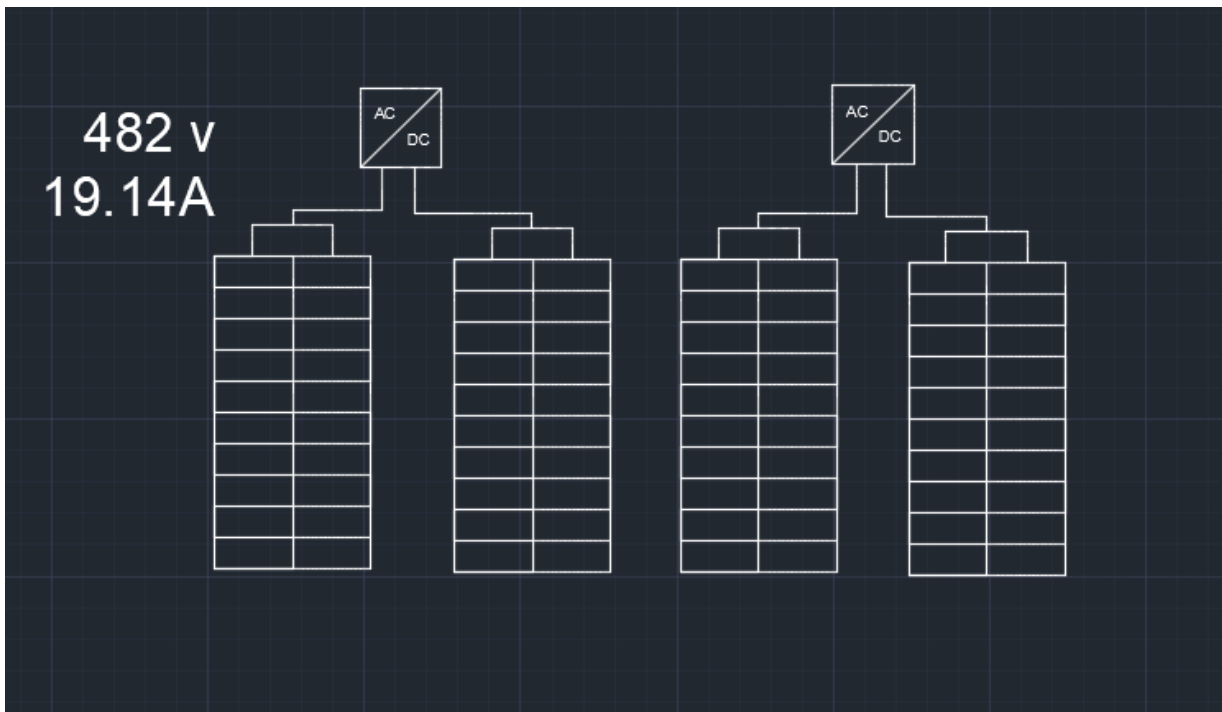
Según la tabla 7 del costo del proyecto, se debe hacer una inversión inicial de \$20,000,000. para la compra de 80 paneles solares, 2 inversores y la estructura para su montaje. Cabe destacar que en este monto se le agrega un 15% más por costos de mano de obra, conexión a la red y otros materiales que no están detallados. Con este número de paneles se producirá producir más del 100% de la energía necesaria y se tendrán ahorros al final de la vida útil del sistema de 20 años con un VAN de \$52,832,720 con una TIR del 32%.

➤ **Sistema Fotovoltaico**

Se eligió el panel solar marca Jinko modelo: JKM365M-72 con una potencia nominal de 365 W. Se utiliza 2 inversores de la marca Fronius Primo 15 con una potencia nominal de 15000W. La estructura para el soporte CK-FT-7R4200.

➤ **Posición de los paneles solares**

Los paneles deberán colocarse en un ángulo  $10^\circ$  que corresponde a la latitud de nuestro país, orientados hacia el Sur. Se colocarán con la siguiente configuración de series-paralelos:



*Figura 46. Diagrama agrupación de paneles*

Se colocan 4 módulos de paneles solares cada módulo compuesto por 20 paneles dando un total de 80 paneles manejados por 2 inversores de 15kw. Con valores de salida de 482 V y 19.14 A por módulo.



*Figura 47 Ubicación propuesta para paneles e inversores en la Estación de San Miguel.*

Fuente: Propia

Se colocarán 4 módulos de 20 paneles cada uno total de 80 paneles solares área total por módulo de paneles = 38.80 m<sup>2</sup>. Con un peso de 450 kg por arreglo de 20 paneles para un peso total de 1800 kg. Se tiene que hacer el estudio y rediseño de la estructura del techo colocando más soportas entre los clavadores.



*Figura 48. Techo de la estación.*

➤ **Conductores y protecciones**

Para los conductores en DC: Numero 8 AWG THHN CU.

Para conductores en AC: conductor #10 AWG THHN CU.

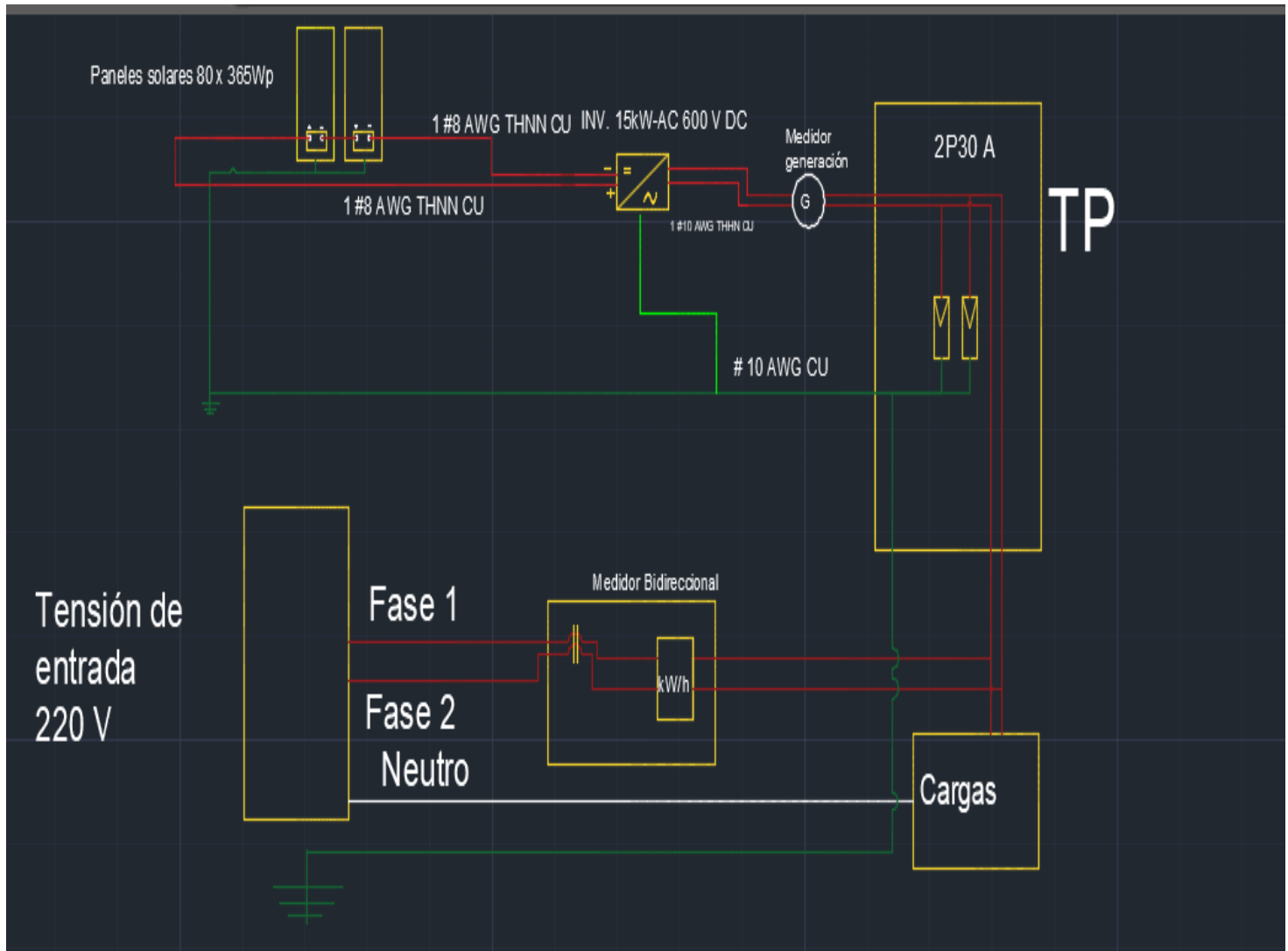
Conductor de puesta a tierra: conductor de puesta a #10 AWG CU.

Protección AC: 2P30A

Tuberías: Tubería  $\frac{1}{2}$  in EMT.

Nota: Cada uno de los inversores ya tienen incorporados sus protecciones internas.

➤ **Diagrama Unifilar de instalación de paneles solares**



*Figura 49. Diagrama unifilar. Fuente propia*

Para una futura investigación se puede incorporar al diseño una UPS de respaldo de aproximadamente 150KVA, para respaldar las cargas críticas de la estación como se muestra en la figura 48.

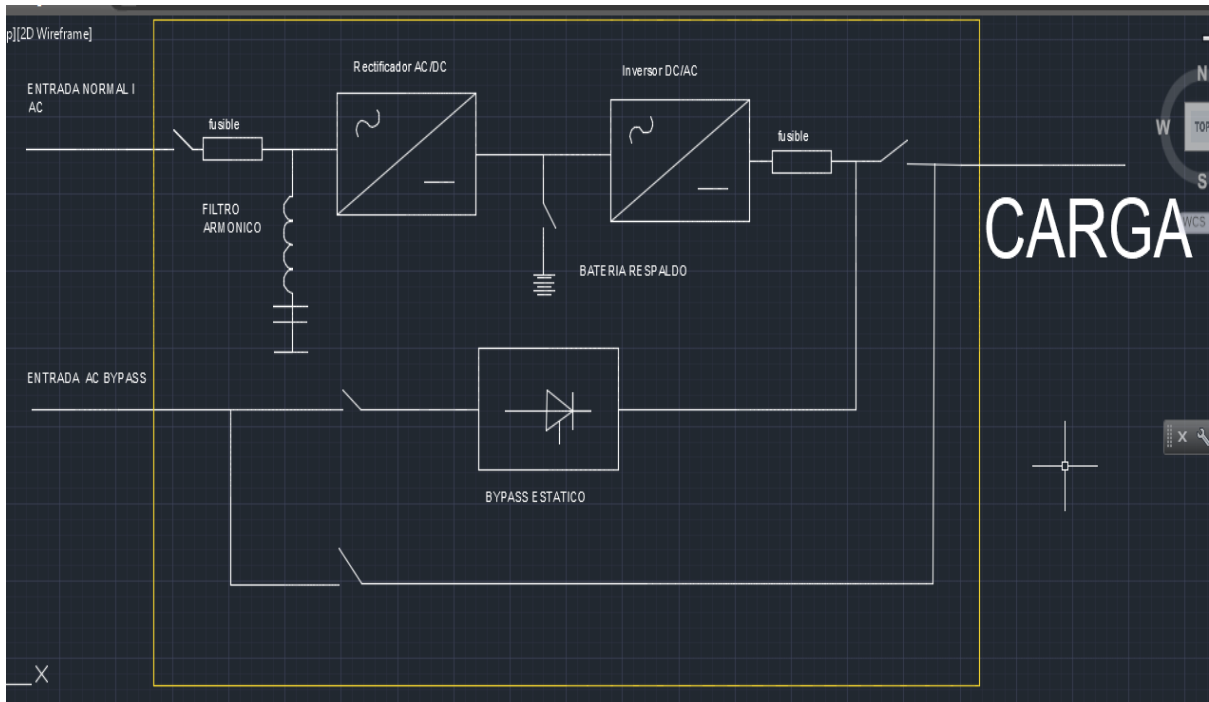


Figura 50. Diagrama unifilar UPS

## Referencias Bibliográficas

- Acesolar, A. c. (s.f.). *acesolar*. Obtenido de <http://www.acesolar.org/que-es-generacion-distribuida/>
- Arias, F. G. (2006). *El Proyecto de la Investigación*. Caracas: Episteme.
- Boileau, H. (18 de octubre de 2013). *Labri*. Obtenido de [http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es09/Chapter\\_9\\_ES.pdf](http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es09/Chapter_9_ES.pdf)
- BYMSOL. (2019). *Bymsol*. Obtenido de <http://www.bymsol.com/red-y-medidor-bidireccional.html>
- Fco.J. Gimeno Sales, S. S. (2002). *Convertidores Electronicos: Energía Solar Fotovoltaica, Aplicaciones y Diseño*. Valencia: Editorial Universitat Politecnica de Valencia.
- GENCELL ENERGY. (2018). *The Big Deal with Fuel Cells*. Estados Unidos: GENCELL ENERGY.
- Gillmore, M. J. (2006). *Estudio del potencial solar en Costa Rica*. San Jose, Costa Rica.
- Gómez, J. M. (2009). *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas*. Barcelona: Ediciones Experiencia.
- González, F. J. (2013). Determinacion del potencial solar. En F. J. González, *Determinacion del potencial solar*. Malaga: IC Editorial.
- Google Maps. (2019). Obtenido de <https://www.google.co.cr/maps/@9.9556069,-84.0923882,14z?hl=es>
- Grupel. (2019). *grupel.eu*. Obtenido de [www.grupel.eu/es/grupel-es](http://www.grupel.eu/es/grupel-es)
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2008). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico D.F: McGraw-Hill Interamericana.

*La celula solar fotovoltaica.* (s.f.). Obtenido de [ujaen.es](http://www.ujaen.es):

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/03\\_celula/01\\_basico/3\\_celula\\_04.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm)

Mendez, I. K. (17,18 de Setiembre de 2015). *Energia Solar en Costa Rica*. San Jose, San Jose, Costa Rica.

MINAE, D. S. (2015). *Análisis Técnico-Financiero de la Generación Distribuida en la CNFL*. San Jose.

*NFPA 70.Codigo Electrico Nacional.* (2008).

Óscar Perpiñan Lamigueiro, Ó., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2012). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. España: J. de Haro Artes Gráficas, S.L.

Pérez, R. G. (2017). *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Malaga: IC Editorial.

ResearchGate. (Abril de 2017). *ResearchGate*. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/figure/Pasaje-de-la-radiacion-solar-a-traves-de-la-atmosfera\\_fig2\\_316379603](https://www.researchgate.net/figure/Pasaje-de-la-radiacion-solar-a-traves-de-la-atmosfera_fig2_316379603)

Rújula, A. A. (2009). *Energias Renovables Sistemas Fotovoltaicos*. Zaragoza: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza.

Sebastian, E. (27 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://eliseosebastian.com/distancia-entre-paneles-fotovoltaicos/>

Tobajas, M. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica*. Cano Pina, SL.

Vázquez, M. T. (2012). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Cano Pina, S.L. Ediciones Ceysa.

Weatherspark. (s.f.). *es.weatherspark.com*. Obtenido de

<https://es.weatherspark.com/y/15525/Clima-promedio-en-Heredia-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Wikipedia. (9 de junio de 2019). *es.wikipedia.org*. Obtenido de

[es.wikipedia.org/wiki/Microinversor\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Microinversor_solar)

YUBA. (12 de Febrero de 2015). *Yubasolar*. Obtenido de

<http://www.yubasolar.net/2015/02/inversores.html>

Zeledón, J. M. (Septiembre de 2016). Tesis de Licenciatura. *Un aporte al debate sobre*

*fuentes alternativas de energía en Costa Rica. El caso de la energía solar*. San José,

Costa Rica.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Ficha técnica de inversor


SOBRE NOSOTROS PERICIA CLIENTES Y SOCIOS CENTRO DE INFORMACIÓN CONTACTO

### MÁXIMA FLEXIBILIDAD PARA LAS APLICACIONES DEL MAÑANA.

Con categorías de potencia de 3.0 a 20.0 kW, el Fronius Symo sin transformador es el inversor trifásico para cada tamaño de sistema. Debido al diseño SuperFlex, el Fronius Symo es la respuesta perfecta para las orientaciones de techo de formas irregulares o diferentes. Una conexión a Internet WLAN o Ethernet como estándar, además de una fácil integración de componentes de terceros, hacen de Fronius Symo uno de los inversores más comunicativos del mercado. Además, la interfaz del medidor permite una gestión dinámica de la alimentación y una clasificación de la energía.



Relanzamiento wt

---

#### DATOS DE ENTRADA

Número de seguidores de MPP	2,0
Max. corriente de entrada ( $I_{dc\ max}$ )	33,0 / 27,0 A
Max. Corriente de cortocircuito, módulo array	49,5 / 40,5 A
Rango de voltaje de entrada de CC ( $U_{dc\ min}$ - $U_{dc\ max}$ )	200 - 1000 V
Tensión de arranque de entrada ( $U_{dc\ start}$ )	200,0 V
Voltaje de entrada nominal ( $U_{dc,r}$ )	600,0 V
Rango de voltaje MPP ( $U_{mpp\ min}$ - $U_{mpp\ max}$ )	320 - 800 V
Rango de voltaje MPP utilizable	200 - 800 V
Número de conexiones DC	3 + 3
Max. Potencia del generador fotovoltaico ( $P_{dc\ max}$ )	Pico de 22,5 kW

Salida nominal de CA ( $P_{ac,r}$ )	15,0 kW
Max. potencia de salida ( $P_{ac,max}$ )	15,0 kVA
Corriente de salida AC ( $I_{ac,nom}$ )	21,7 A
Conexión a la red ( $U_{ac,r}$ )	3 ~ NPE 400/230, 3 ~ NPE 380/220 V
Rango de voltaje de CA ( $U_{min} - U_{max}$ )	150 - 280 V
Frecuencia ( $f_r$ )	50/60 Hz
Rango de frecuencia ( $f_{min} - f_{max}$ )	45 - 65 Hz
Distorsión armónica total	1,5%
Factor de potencia ( $\cos \varphi_{ac,r}$ )	0 - 1 ind / ran

Altura	0,73 m
Anchura	0,51 m
Profundidad	0,23 m
Peso	43,4 kg
Grado de protección	IP 66
clase de protección	1,0
Categoría de sobretensión (DC / AC) <sup>1)</sup>	2/3
Consumo nocturno	<1 W
Diseño inversor	Sin transformador
Enfriamiento	Enfriamiento por aire regulado

Rango de temperatura ambiente	-40 °C - +60 °C
Humedad permitida	0 - 100%
Max. altitud <sup>2)</sup>	2.000 m / 3.400 m
Tecnología de conexión DC	6x DC + y 6x DC- terminales de tornillo 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>
Tecnología de conexión de ca	Terminales de tornillo de CA de 5 pines 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>
Certificados y cumplimiento de normas.	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1 / A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1 / -2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100,   AS 4777- 2, AS 4777-3, CER 06-190, G83 / 2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097

Max. eficiencia (fotovoltaica)	98,1%
Eficiencia europea ( $\eta_{EU}$ )	97,8%
$\eta$ al 5% $P_{ac,r}^{3)}$	91,2 / 94,8 / 92,3%
$\eta$ al 10% $P_{ac,r}^{3)}$	93,4 / 96,0 / 94,4%
$\eta$ al 20% $P_{ac,r}^{3)}$	95,9 / 97,4 / 96,7%
$\eta$ al 25% $P_{ac,r}^{3)}$	96,2 / 97,6 / 97,0%
$\eta$ al 30% $P_{ac,r}^{3)}$	96,5 / 97,8 / 97,3%
$\eta$ al 50% $P_{ac,r}^{3)}$	96,9 / 98,1 / 97,7%
$\eta$ al 75% $P_{ac,r}^{3)}$	97,0 / 98,1 / 97,8%
$\eta$ al 100% $P_{ac,r}^{3)}$	97,0 / 98,1 / 97,7%
Eficiencia de adaptación MPP	> 99,9%

#### DISPOSITIVOS DE PROTECCION

Medición de aislamiento DC	Sí
Comportamiento de sobrecarga	Cambio de punto de operación, limitación de potencia
Seccionador de corriente continua	Sí
Protección contra polaridad inversa	Sí

#### INTERFACES

WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)
6 entradas y 4 entradas / salidas digitales	Interfaz para ondular el receptor de control.
USB (conector tipo A) <sup>4)</sup>	Registro de datos, actualización del inversor a través de

Salida de señalización <sup>4)</sup>	Fronius Solar Net Gestión de energía (salida relé flotante)
Datalogger y servidor web	Integrado
Entrada externa <sup>4)</sup>	Conexión 50 metros / Evaluación de protección contra

#### TECNOLOGÍA

## Apéndice 2. Ficha técnica del panel solar

### Panel solar monocristalino 365W JKM365M-72-J



#### Detalles del producto

##### Datos técnicos

Tipo de módulo : JKM365M-72-J

Potencia máxima (Pmax) : 365W

Voltaje de circuito abierto (Voc) : 48.2V

Corriente de cortocircuito (Isc) : 9.57A

Voltaje de potencia máxima (Vmpp) : 39.7V

Corriente de potencia máxima (Impp) : 9.20A

Dimensiones (W x D x H (mm)) : 1956 \* 992 \* 40

Peso: 22.5kg Las

especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

### Apéndice 3. Cotización de sistemas fotovoltaicos

**SunProducts**  
EQUIPO

**Sunshine**  
ENERGÍA SOLAR

Estimado Cliente:

viernes, julio 05, 2019

Sr. 0  
Karol Madrigal  
San Jose, Escazu  
8311-9508 kmadrigal07@gmail.com

Factura Proforma SP 382

Por este medio le hacemos llegar nuestra Factura Proforma de los siguientes equipos de medición:

	MODELO	MARCA	DETALLE	POTENCIA	VOLTAJE	P. UNITARIO	CANTIDAD	SUB-TOTAL
1	JKM365M-72/Detalle	JINKO	Panel	365,00		\$ 185,10	4	\$ 740,40
2	Picking Bodega					\$ 25,00	1	\$ 25,00
3	Primo 15	Fronius	Inversor	15000	208-240V	\$ 4 655,30	1	\$ 4 655,30
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12						Subtotal		\$ 5 420,70
13						I.V.A		\$ 704,69
						<b>Total</b>	\$	<b>6 125,39</b>

ENTREGA INMEDIATA JKM365M-72/Detalle	CONTRA PEDIDO - 2 MESES APROX Primo 15
-----------------------------------------	-------------------------------------------

- Los precios incluyen nacionalización y serán entregados en **nuestra bodega** en San José.
- Condiciones de pago: 20% contra Orden de Compra y 80% contra entrega.
- No otorgamos garantías adicionales. El equipo cuenta con garantías del fabricante.
- Bodega ALFIDEPA: 100 S y 100 O de oficinas de Pizza Hut, Pavas entrada Oeste de ofiCentro La Virgen
- La entrega se coordina con **48 horas** de anticipación luego de confirmado el deposito de Orden de Compra

Marilyn Zuñiga Perez  
REPRESENTANTE COMERCIAL

**JinkO** Solar

  
ENPHASE


**CHIKO**  
Integration Solar Solution

**Fronius**

**Growatt**

#### Apéndice 4. Rieles para estructura de paneles solares

CK-FT-7R4200



Chiko 7 Rail 4200mm  
14kg per pack of 4  
3.5kg each rail

Price: \$29.00 (Excl. GST)

[Buy Now!](#)

[Tell a Friend](#)

## Apéndice 5. Tarifas vigentes CNFL

### TARIFAS ELÉCTRICAS

Jueves 27 de junio se publicó en el Alcance N°146 de la Gaceta.



La Modificación Tarifaria que aplica a partir del día Lunes de 01 julio del 2019  
(Tarifa Incluye CVC)

Tarifa Residencial Horaria T-REH	
<b>Consumo de 0 a 300 kWh</b>	
Punta	¢156,90
Valle	¢65,05
Nocturno	¢26,78
<b>Consumo de 301 a 500 kWh</b>	
Punta	¢178,60
Valle	¢72,72
Nocturno	¢30,62
<b>Consumos mayores a 501 kWh</b>	
Punta	¢211,75
Valle	¢85,47
Nocturno	¢39,55

Tarifa Residencial T-RE	
Bloque de 0-30 kWh Cargo Fijo	¢ 2.219,40
Bloque de 31-200 kWh cada kWh	¢ 73,98
Bloque de 201-300 kWh cada kWh	¢ 113,53
Bloque mayor a 300 kWh cada kWh adicional	¢ 117,37

Tarifa Media Tensión TMT	
<b>Consumo de energía por cada kWh</b>	
Energía Punta	¢63,78
Energía Valle	¢31,89
Energía Noche	¢22,96
<b>Consumo de Potencia (kW)</b>	
Potencia Punta	¢11.183,42
Potencia Valle	¢7.957,37
Potencia Noche	¢5.051,48

Tarifa Comercios y Servicios T-CO	
<b>Bloques de consumo</b>	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	¢125,02
<b>Por Consumo de Energía</b>	
Bloque de 0 - 3.000 kWh Cargo Fijo	¢225.780,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢75,26
<b>Cargo por Potencia</b>	
Bloque 0 – 8 kW Cargo Fijo	¢94.253,52
Bloque mayor a 8 kW cada kW	¢11.781,69

Tarifa Industrial T-IN	
<b>Bloques de consumo</b>	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	¢125,02
<b>Por Consumo de Energía</b>	
Bloque de 0 – 3.000 kWh Cargo Fijo	¢225.780,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢75,26
<b>Cargo por Potencia</b>	
Bloque 0 – 8 kW Cargo Fijo	¢94.253,52
Bloque mayor a 8 kW cada kW	¢11.781,69

Tarifa Preferencial de Carácter Social T-CS	
<b>Consumo menor o igual a 3000 kWh cada kWh</b>	
	84,20
<b>Clientes con consumo de Energía</b>	
<b>Consumo de Energía kWh</b>	
Bloque de 0-3000 kWh Cargo Fijo	¢145.440,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢48,48
<b>Por consumos de potencia kW</b>	
Bloque de 0-8 kW Cargo Fijo	¢62.791,44
Bloque mayor a 8 kW cada kW	¢7.848,93

Tarifa Promocional T-PRO	
<b>Bloques de consumo</b>	
Consumo menor o igual a 3.000 kWh cada kWh	¢125,02
<b>Por Consumo de Energía</b>	
Bloque de 0 – 3.000 kWh Cargo Fijo	¢225.780,00
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢75,26
<b>Cargo por Potencia</b>	
Bloque 0 – 8 kW Cargo Fijo	¢94.253,52
Bloque mayor a 8 kW cada kW	¢11.781,69

Tarifa Alumbrado Público T-AP	
Por cada kWh consumido	¢3,51

Definición de periodos:

- 1. Punta:** de 10:00 a 12:30 pm y de 17:30 a 20:00
- 2. Valle:** De 6:01 a 10:00 y de 12:30 a 17:30
- 3. Nocturno:** De 20:00 a 6:00

\*Los precios anteriores no incluyen cargos tarifarios por alumbrado público, impuesto de ventas, ni importe de bomberos.

## Apéndice 6. Cotización Planta Generadora



### COTIZACIÓN

Presupuesto N°: NMC-1853-19

Fecha: 15/07/2019

Id Cliente:

Cotización válido hasta: 30 días

Preparado por: NMC

<b>Asunto</b>	GENERADOR ELECTRICO DE EMERGENCIA		
<b>Contacto</b>	Srta. Karol Madrigal		
<b>Teléfonos</b>	8311-9508	<b>Fax</b>	
<b>Email</b>	<a href="mailto:Kmadrigal07@gmail.com">Kmadrigal07@gmail.com</a>		

Estimados Señores:

Agradecemos la oportunidad de someter a su consideración nuestra oferta por un Equipo de Generación Eléctrica nuevo, marca **GENERAC**, con las características técnicas que a continuación detallamos.

#### PLANTA GENERAC SD150 (150KW)

##### Motor:

Diésel, 4 tiempos, 4 cilindros en línea, enfriamiento por agua, turbo cargado, relación de compresión 16.5:1. Proporciona una excelente economía de combustible y bajas emisiones.

##### Generador:

De 150 Kw en servicio Stand by (emergencia) trifásico, 60Hz, a 120/240 voltios, 1,800 RPM, generador sin escobillas, autoventilado, 0.8 f. p, Aislamiento con tropicalización y antiabrasión, Capacidad de sobre velocidad 113%, regulador de voltaje en las fases.

##### Panel de control:

Pantalla LCD con ajuste de contraste y luz de fondo. Despliegue digital en pantalla, voltaje, amperaje, frecuencia. Voltaje CD de batería; horas de operación del motor. Presión de aceite, revoluciones del motor en RPM.

Protecciones: Disparo por falla en el arranque, disparo por baja presión de aceite, alarma acústica por alta temperatura del motor, bajo/alto voltaje de batería, baja/alta velocidad del motor, pérdida de detección de velocidad del motor, 2 canales de falla para usuario. Registro de 250 eventos de falla.



**Sistema de Combustible:**

Incluye: líneas flexibles de alimentación y retorno de combustible, tapón de llenado, respiradero, Suministra una autonomía 12 horas, a un factor de carga del 100%.

**Accesorios:**

- Base estructural con aisladores de vibración tipo almohadilla
- Radiador tropicalizado
- Cargador de baterías
- Calentador de camisas
- Literatura: Manual de Mantenimiento y operación, Manual de Partes.
- Breaker instalado en la planta.
- Gabinete para intemperie con atenuación sónica hecho en fábrica Nivel 1.

**Certificaciones:**

- Fabricada bajo certificación ISO9001:2008, ISO14001:2004
- Normas: EPA, TIER, NEMA, ANSI, UL, NEC.

**Cuadro de costos.**

PARTIDA	Descripción	Precio Unitario	Entrega
1	Generador Trifásico 150 KW, tanque subbase 12 horas y gabinete para intemperie.	\$ 41,880.00	De 14 a 16 semanas.

**TOTAL.....\$ 41.880.00+ I.V.**

**Condiciones Generales**

Precio no incluye, impuestos, combustibles, Transporte, instalación electromecánica ni mantenimientos preventivos.

Costo de la puesta en marcha en el GAM \$ 300.00.

**FORMA DE PAGO: 50% con OC 50% para entrega, o a convenir por el cliente.**

**GARANTÍA:** Garantía de fábrica de 24 meses contra desperfectos de fabricación para aplicaciones de respaldo o STAND BY, con un límite de 1000 horas y 6 meses en aplicaciones de funcionamiento continuo o PRIME, a partir de la fecha de entrega al primer usuario.

Transferencia: Garantía de fábrica de 24 meses contra desperfectos de fabricación, a partir de la fecha de entrega al primer usuario.



## Apéndice 7. Cotización de alquiler de Planta Generadora



www.corporacionfont.com  
TEL. 2296-9920 FAX 2290-3865  
SAN JOSE, COSTA RICA

**Font**  
RENTA EQUIPOS

Página 1 de 3

**Cotización No. 6632**

24 de Mayo del 2019

**Señores**  
RITEVE S Y C S.A. (17360)  
Presente

**Atención: Señor(a) Martín Astua**  
8316-2146  
mastua@rtv.co.cr  
Tel: 22092000 / Fax: 2209-2001

**Asunto/Referencia:**  
Alquiler de planta eléctrica 150 kW

Estimado (a) (s) Señores:

Tenemos el agrado de presentar para su evaluación nuestra cotización por el siguiente concepto:

Código	Descripción	Cant.	Precio/Unit.	Total
268044	<b>ALQUILER DIARIO DE PLANTA ELÉCTRICA 150 KW</b> Alquiler de planta eléctrica de 150 kW (188 kVA) de capacidad, 60 Hz, para utilizar en corriente monofásica 120/240 voltios o trifásica 120/208, 120/240, 277/480 voltios (a indicar por el cliente en el momento de la oferta). - Diesel, montada en trailer, con encapsulado acústico y para la interperle. Tarifa de alquiler por un día (8 horas) no incluye el suministro de combustible diesel ni el transporte. - No incluye la transferencia automática. - Esta tarifa otorga el derecho a operar el equipo 8 horas por día. La hora adicional se cobra a \$14.00	1.00	423.00	423.00 *
268106	<b>Transporte de equipo</b> Transporte ida y regreso a RTV de Cartago.	2.00	113.00	226.00 *
268104	<b>Combustible Diesel (litro)</b>	300.00	1.25	375.00 *
			<b>SUBTOTAL.....</b>	<b>1,024.00</b>
			<b>(+) Impuestos de Ventas.....</b>	<b>0.00</b>
			<b>PRECIO TOTAL (DOLARES)</b>	<b>1,024.00</b>

(\*) Artículo exonerado del impuesto de ventas.

**Notas:**

- La orden de compra se debe dirigir a nombre de Renta Equipos Font S.A.
- El cliente debe manifestar en la orden de compra que recibe en buen estado el equipo y se compromete a devolverlo igual.
- El cliente debe indicar en su orden de compra la aceptación de las condiciones de esta oferta (indicando el número de cotización), o enviar copia de esta cotización con un visto bueno.
- El cliente es responsable de informar por escrito, a Renta Equipos Font, la fecha en que desea que se retire el equipo para su devolución.
- El cliente debe indicar por escrito el tipo de voltaje en que necesitan el equipo.
- El cliente debe indicar, en forma clara, el lugar y fecha para la entrega del equipo.
- El precio incluye asesoría técnica para la instalación y la operación del equipo.
- El precio incluye el suministro de 10 metros de cable para la conexión del mismo.
- El precio no incluye el combustible del equipo, salvo que se indique expresamente en esta oferta.
- El precio no incluye el transporte del equipo, salvo que se indique expresamente en esta oferta.
- El precio no incluye el alquiler de equipos especiales para la instalación (grúas, montacargas, etc.), ni

## Apéndice 8. Información Banco Promerica

La tasa actual es de 9%

El plazo se ajusta a la recuperación de la inversión de la tecnología o proyecto.

### Requisitos:

- Información financiera de la persona física o jurídica
- Estudios técnicos del proyecto por parte del proveedor de la tecnología
- Formularios requeridos según la regulación de crédito vigente.

### Ofrecemos:

- Banco Promerica ofrece diversas estructuras de financiamiento con condiciones establecidas y muy bien definidas para facilitar la inversión a personas físicas y empresas de diferentes sectores en proyectos de energía solar. La accesibilidad a nuestros créditos permite el desarrollo de este tipo de inversiones promueve la sostenibilidad energética del país.
- Las condiciones de financiamiento están estructuradas con tasas de interés diferenciadas de las que normalmente se otorgan a un financiamiento para compra de activo fijo o proyecto de inversión, los plazos permiten ajustar el flujo de caja al ahorro generado producto del funcionamiento de los sistemas instalados, las comisiones también están en concordancia para beneficiar al cliente y minimizar el gasto financiero de la inversión inicial. Además de divulgación en medios de comunicación internos y externos que permite la promoción de los clientes; se cuenta con experiencia interna del área comercial quien realiza un acompañamiento durante todas las etapas del financiamiento.

### Importancia:

- Para Banco Promerica es muy importante el apoyo e involucramiento en iniciativas de generación de energías renovables limpias, que permitan la reducción de la huella de carbono; esto a través de una estructura de financiamiento con condiciones favorables para el cliente, en donde exista una recuperación de la inversión sustentada con el ahorro energético dentro de un plazo adecuado

**Contacto:** 2505-7124 / 2505-7241 / 2505-7249

**E-mail:** [creditoverdes@promerica.fi.cr](mailto:creditoverdes@promerica.fi.cr) / [xf-verde@promerica.fi.cr](mailto:xf-verde@promerica.fi.cr)

### Créditos Verdes

#### Beneficios y Financiamiento

Financiamientos para inversiones en: eficiencia energética, energía renovable o reducción de impacto ambiental con un ahorro mínimo del 20% en consumo del recurso (electricidad/agua) y/o reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

### Ventajas del producto:

- Tasas: Competitivas según tecnología
- Prima: Según el tipo de proyecto y garantía
- Plazo: Hasta 10 años
- Monto mínimo a financiar: Según tecnología
- Monto máximo a financiar: No existe monto máximo, se define de acuerdo al ahorro generado
- Hay opción en dólares: Si

### Tipos de financiamiento:

- Financiamiento de equipo fotovoltaico (paneles solares)
- Transporte de bajo impacto en el ambiente o que disminuyan el impacto de CO2
- Aire acondicionado
- Iluminación
- Proyectos de biomasa
- Biodigestores
- Calderas de gas o biomasa
- Sistemas de riego y de bajo consumo de agua
- Inversión en tecnologías que promueven eficiencia energética
- Inversión en activos sostenibles que contribuyan a la reducción del consumo de recursos naturales o disminución de emisiones de CO2 (calderas, Biodigestores, entre otros).
- Maquinaria eficiente
- Calentadores de agua solar
- Vehículos eficientes

Warner Valverde Obando  
Coordinador de Servicios Sinpe

[wvalverde@promerica.fi.cr](mailto:wvalverde@promerica.fi.cr)  
El Cedral, Centro Corporativo  
Trejos Montealegre, Escazú  
San José, Costa Rica  
Tel: (+506) 2505-7432  
[www.promerica.fi.cr](http://www.promerica.fi.cr)

**Apéndice 9. Entrevista N 1.**

Nombre: Gil Edwards Earl


Formación académica: Ingeniero Industrial

Cargo: Subgerente de Operaciones


Años de experiencia: 18 años en Riteve

1. ¿Sabe usted cuál es la razón de la inexistencia una planta de emergencia en las estaciones de RTV?
2. ¿Cree usted que se puede implementar una planta generadora en las estaciones?
3. ¿Sabe usted cual es la frecuencia de cortes de corriente anuales en el país que afectan las estaciones de RTV?

## Apéndice 10. Guía para trámite de Generación Distribuida.



### Guía para trámite de Generación Distribuida



**INTRODUCCIÓN**

En esta guía se indican los requisitos que debe presentar o realizar un cliente, ante el GRUPO ICE, que desee formar parte de la Comunidad Generación Distribuida (CGD). Dichos requisitos se apegan a lineamientos establecidos y lo indicado en los siguientes documentos:

- DECRETO EJECUTIVO 39220-MINAE: Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla.
- RESOLUCIÓN RJD-030-2016, AUTORIDAD REGULADORA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS: ajustes a las normas técnicas y metodologías tarifarias aplicables a la generación distribuida para autoconsumo.

Las disposiciones aplican a todo Proyecto de Generación Distribuida Modalidad Neta Sencilla (GDNC), que se interconecte al Sistema de Distribución Eléctrica de la CNFL, con el fin de que el cliente se convierta en un productor-consumidor.

**PROCEDIMIENTO Y REQUISITOS**

1. Cumplir con las condiciones establecidas por el GRUPO ICE para tramitar una solicitud de disponibilidad de potencia en el circuito.

El cliente antes de presentar una solicitud de disponibilidad de potencia debe verificar que el circuito al que se interconectará el sistema no éste en la lista de circuitos donde los proyectos de generación ya alcanzaron el 15% de la demanda máxima del circuito.

El cliente debe verificar que cuente con un contrato de servicio definitivo con la empresa eléctrica, y que tenga al menos 6 meses de instalado para poder calcular la



potencia a instalar según consumos históricos. Además el servicio no debe contar con medición totalizada.

2. Presentación de la solicitud de disponibilidad de potencia en el circuito

El cliente debe presentar la solicitud de disponibilidad de potencia en el circuito para la realización del estudio de interconexión o disponibilidad de potencia del circuito de distribución.

Este formulario lo puede llenar en línea, mediante la Agencia Virtual, o la puede descargar en la página Web (F-102) y presentarlo directamente en la Sucursal, con los documentos que se indican a continuación, cualquier documento o información faltante puede generar el rechazo del estudio de disponibilidad de potencia por información incompleta.

**a- Memoria de cálculo, conteniendo al menos:**

Descripción general del proyecto, fuente de energía a usar y consideraciones particulares, por ejemplo: registros históricos de radiación solar, caudales de agua, volúmenes y tipo de desechos sólidos, velocidad o potencia media del viento etc., (los datos históricos deben ser tomados de entes competentes), cálculo de la potencia a instalar (para todos los efectos, la capacidad nominal del sistema será la potencia del elemento generador. En caso de sistemas fotovoltaicos será la potencia pico de los paneles), potencia promedio de generación mensual y anualmente, ahorros esperados. La potencia a instalar debe calcularse según los consumos históricos de al menos seis meses y la energía total generada no podrá superar el 100% del consumo.

**b- Recibo de pago por la solicitud de disponibilidad de potencia en el circuito:**

Solicitud de disponibilidad de potencia en el circuito	- Servicios menores a 50 kVA: <b>¢39.550</b> (Treinta y nueve mil quinientos cincuenta colones)
El costo incluye el IVA	- Servicios de 50 kVA a 150 kVA: <b>¢79.100</b> (Setenta y nueve mil cien colones)
	- Servicios mayores a 150 kVA: <b>¢113.000</b> (Ciento trece mil colones)

**c- Documentos administrativos:**

El cliente debe aportar copia de cédula física o jurídica según corresponda, personería jurídica vigente, poder especial en caso de que los trámites los realice un tercero.

**d- Especificaciones de los equipos a utilizar:**

El cliente debe aportar fichas técnicas de los equipos a utilizar (paneles solares e inversores en el caso de sistema fotovoltaico, generador para el caso del resto de sistemas).

**e- Certificado del cumplimiento de la norma UL1741, del inversor (es) a usar.**



El cliente debe aportar los certificados que demuestren el cumplimiento de las norma UL 1741 específica del inversor a utilizar en caso de sistemas fotovoltaicos.

En caso de no haber disponibilidad en el circuito, el proyecto se rechazará. De haber disponibilidad en el circuito, el interesado tendrá tres meses contados a partir de la fecha de notificación, para concretar o implementar el proyecto de generación distribuida y solicitar la interconexión. Si para interconectar el proyecto de GD, se requiere adecuación de la red, el interesado deberá cubrir los costos que indique la empresa eléctrica. Toda información que se presente es responsabilidad del cliente y del ingeniero a cargo de la obra, la cual la empresa eléctrica usará para verificar la eventual interconexión del proyecto. Cualquier dato que se varíe o que induzca a error, podrá ser causal del rechazo de la interconexión.

**3. Requisitos adicionales posteriores a la aprobación del estudio de disponibilidad de potencia en el circuito**

El estudio de disponibilidad de potencia en el circuito puede generar un diseño de ingeniería adicional para adecuación de la red al proyecto, principalmente por la magnitud de la potencia instalada.

- a- Para sistemas mayores a 250 kVA se requiere de la instalación de un equipo de protección (interruptor de media tensión).
- b- Para sistemas mayores a 500 kVA se requiere viabilidad ambiental por parte de SETENA.

- c- Según aspectos adicionales como tamaño del proyecto, ubicación dentro de la red de distribución y densidad de proyectos de generación en la zona se requerirá un estudio técnico para asegurar la calidad de la energía de la red de distribución por la interconexión del proyecto, el cual será desarrollado por la empresa distribuidora. Este estudio puede tardar entre 3 y 4 meses.
- d- Para proyectos hidroeléctricos, se requiere aportar la concesión de fuerza hidráulica y el estudio de viabilidad ambiental en cumplimiento del artículo 6, del Reglamento # 39220.

El interesado podrá solicitar, por una única vez, prórroga al trámite del proyecto hasta tres meses adicionales. Deberá presentar una nota escrita, con 10 días hábiles de anticipación al vencimiento, indicando las razones y la nueva fecha de entrada de operación. La empresa eléctrica deberá responder si concede la prórroga solicitada.

**4. Medición, inspección, y firma de contrato**

La empresa distribuidora revisará el sistema de generación distribuida para verificar que cumple las normas técnicas para la operación en paralelo con el sistema de distribución eléctrica.

- a- Previo a la inspección respectiva, el interesado deberá cancelar el monto establecido para la inspección, según se indica en la siguiente tabla:



<p>Solicitud de inspección y reinspección</p> <p>El costo incluye el IVA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Servicios menores a 50 kVA: ₡33.900 (Treinta y tres mil novecientos colones)</li> <li>- Servicios de 50 kVA a 150 kVA: ₡67.800 (Sesenta y siete mil ochocientos colones)</li> <li>- Servicios mayores a 150 kVA: ₡113.000 (Ciento trece mil colones)</li> </ul>
------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

b- Los equipos de medición necesarios para el registro de datos, serán costeados por el interesado.

c- Una vez verificados los documentos con información técnica respectivos y realizada la inspección del proyecto, de no encontrarse inconvenientes técnicos o cambios en la capacidad del mismo, se convocará a la firma del contrato de interconexión. Si existieran cambios en las especificaciones o modelos de los equipos o aumento de la capacidad del proyecto, de acuerdo con lo reportado previamente, se desestimará la solicitud realizada y el cliente deberá realizar una nueva solicitud de interconexión.

Cumplido lo anterior, se procederá con la firma del Contrato de Interconexión entre el Productor- Consumidor y CNFL

## Apéndice 11. Solicitud de estudios de ingeniería

COMPANÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, S. A. Área Diseño del Sistema de Distribución Solicitud de estudio técnico de ingeniería		N° estudio:
F-102		Fecha: <input type="text" value="10/08/2019"/>
DATOS DEL PROYECTO		
Nombre del proyecto:	<input type="text"/>	
Tipo persona:	<input type="text" value=""/>	Número de cédula: <input type="text"/>
Propietario del inmueble (cliente):	<input type="text"/>	
Usuario final (si difiere del propietario):	<input type="text"/>	
Teléfono oficina:	<input type="text"/>	Celular: <input type="text"/> Otro: <input type="text"/>
Correo electrónico 1:	<input type="text"/>	Correo electrónico 2: <input type="text"/>
UBICACIÓN DEL PROYECTO		
Provincia:	<input type="text" value=""/>	Cantón: <input type="text" value=""/> Distrito: <input type="text" value=""/>
Dirección exacta del proyecto:	<input type="text"/>	
NISE:	<input type="text"/>	LOCALIZACIÓN: <input type="text"/>
CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO		
Indicar si existe un estudio anterior:	No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	Número: <input type="text"/>
Tipo de estudio de ingeniería a realizar:	Distribución <input type="checkbox"/> Generación distribuida <input type="checkbox"/>	Tipo: <input type="text" value=""/> Carga: <input type="text" value=""/>
Voltaje:	<input type="text" value=""/>	Cantidad de generadores: <input type="text" value=""/> Proyecto: <input type="text" value=""/> Tipo de proyecto: <input type="text" value=""/>
Describe el tipo de obra a realizar, según corresponda: distribución o generación distribuida. En este ultimo caso incluir información técnica básica del sistema a instalar:	<input type="text"/>	
DATOS DEL PROFESIONAL ENCARGADO DEL PROYECTO		
Nombre:	<input type="text"/>	Número de cédula: <input type="text"/>
		N° de carné CFIA: <input type="text"/>
Teléfono oficina:	<input type="text"/>	Celular: <input type="text"/> Otro: <input type="text"/>
Correo electrónico 1:	<input type="text"/>	Correo electrónico 2: <input type="text"/>
DATOS DEL SOLICITANTE		
Nombre:	<input type="text"/>	Número de cédula: <input type="text"/>

Teléfono oficina:	<input type="text"/>	Celular:	<input type="text"/>	Otro:	<input type="text"/>
Correo electrónico 1:	<input type="text"/>	Correo electrónico 2:	<input type="text"/>		

El cliente autoriza a la CNFL, S.A. a entregar una copia del plano del diseño final de la obra de distribución a construir, a las empresas autorizadas que así lo soliciten, para que éstas puedan presentar la cotización del trabajo a realizar. Esta autorización no genera ninguna responsabilidad o compromiso de parte de la CNFL, S.A. con el cliente. Si  No

La CNFL, S.A. solo entregará los resultados del presente estudio a la dirección electrónica consignada para el cliente o usuario.

[REQUISITOS PARA LA SOLICITUD DE ESTUDIO TÉCNICO DE INGENIERÍA \(Pulse aquí\)](#)

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre del solicitante	Firma del solicitante	Fecha

Para consultas, llamar a los teléfonos: 2295-5686/5688/5689 Correo electrónico: aredissi@cnfl.go.cr

Fecha de modificación: 22/09/2016. Rev. 7

### REQUISITOS PARA LA SOLICITUD DE ESTUDIO DE INGENIERÍA PARA OBRAS DE DISTRIBUCIÓN Y VIABILIDAD PARA OBRAS DE DISTRIBUCIÓN DISTRIBUIDA

1. Cancelar el monto respectivo, el cual contempla únicamente la elaboración del diseño.
2. Nombre e identificación del solicitante (física o jurídica).
3. Presentar copia plano catastrado certificado de la propiedad donde se llevara a cabo el estudio o cercana.
4. Para urbanizaciones, condominios y lotificaciones debe presentar una copia del plano de anteproyecto en archivo digital, deberá contener diseño de sitio de la obra (calles, aceras, división, lotes) y ubicación geográfica (IGN).
5. Para edificaciones (residenciales, comerciales e industriales) se deben presentar los planos eléctricos (diagrama unifilar) de la obra firmado por el Profesional responsable, archivo digital con la ubicación geográfica del inmueble, excepto para servicios temporales para construcción (grúas o equipo pesado).
6. Para la solicitud del estudio de ingeniería de proyectos subterráneos, debe cumplir con los requisitos que establece el Manual para Redes de Distribución Subterránea 34,5 kv, del Colegio de Ingenieros: Electricistas, Mecánicos e Industriales (CIEMI), en donde el Profesional responsable firma los planos junto con la información respectiva (teléfonos, fax, correo electrónico, entre otros).

7. Los servicios temporales se conectarán por cuenta y riesgo de los clientes, sin que pueda responsabilizarse a la CNFL, S.A., ni al organismo regulador por daños a personas o propiedades causados por el estado defectuoso de las instalaciones.
8. Información técnica del sistema a instalar en generación distribuida:
  - Cantidad de generadores
  - Capacidad máxima en kW de cada generador
  - Energía anual prevista del sistema total
  - Tecnología del equipo a instalar y sus características de tensión y potencia
  - Certificación del fabricante del cumplimiento de la normativa aplicable (inversor)
  - Certificado de calidad de laboratorio independiente(inversor)
  - Memoria de calculo de la potencia a instalar y la energía que se va generar

Notas:

a. El cliente acepta que conoce la normativa técnica de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, así como de la legislación vigente sobre servicios para el suministro de energía.

b. El cliente acepta que la viabilidad técnica para generación distribuida tiene una vigencia de tres meses y puede solicitar una prórroga por una única vez y por el mismo plazo, dentro del proceso de construcción e implementación del sistema de generación. Cualquier modificación en el equipo declarado respecto del instalado deberá contar con la autorización de la CNFL, S. A.