



Universidad Internacional de las Américas

Escuela de Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería
Electromecánica**

**“Estudio de factibilidad de implementación de un sistema de
generación fotovoltaica conectado a la red o conectado a baterías en
una empresa productora de materiales a base de PVC ubicada en el
Coyol de Alajuela.”**

Autor:

Bach. Ronald Solano Castillo

Tutor:

Álvaro Rojas Camacho MAI

Lector:

Lic. Geovanny Arce Murillo

San José, Costa Rica

Índice	
Índice de figuras	6
Índice de tablas	7
Índice de ilustraciones	7
Índice de cuadros	8
Glosario de términos técnicos	9
Dedicatoria	10
Agradecimientos	11
Resumen	12
CAPÍTULO I	13
Introducción	13
Problemática:	15
Objetivo General:	15
Objetivos Específicos:	15
Justificación	16
Proyecciones	17
CAPÍTULO II	18
Marco Referencial	18
Limitantes	19
Antecedentes	20
Marco Teórico	24
Principales elementos que componen un diseño eléctrico	25
Conductor eléctrico	25
Cable THHN.....	25
Cable TGP	25
Calibre de alambre estadounidense	26
Acometida eléctrica.....	26

Medidor eléctrico.....	27
Centro de carga e interruptores	27
Centro de carga	27
Interruptor termomagnético.....	28
Interruptor de circuito por falla de arco	28
Interruptor de circuito por falla a tierra	29
Sistemas de puesta a tierra.....	29
Tierra de protección	30
Tierra de servicio	30
Electrodo de tierra.....	31
Mediciones de tierras	31
Factores que afectan la resistividad del terreno	32
Humedad y temperatura	32
Humedad y sales disueltas	32
Temperatura	32
Tipo de suelo	33
Fórmulas necesarias.....	33
Ley de Ohm	33
Potencia eléctrica.....	33
Conceptos importantes sobre energía solar	33
Irradiancia	33
Insolación.....	34
Heliofanía.....	34
Energía solar.....	35
Efecto fotovoltaico.....	36
Celdas Fotovoltaicas.....	37
Componentes Básicos de una Celda Fotovoltaica.....	37

Placa de vidrio.	37
Capa anti-reflectiva.	37
La capa de semiconductor tipo n.	38
Plancha de semiconductores tipo n y tipo p.	38
La capa de semiconductor tipo p.	38
Corriente de cortocircuito (I_{cc})	39
Voltaje de circuito abierto (V_{co})	39
2.8.9 Voltaje óptimo (V_m).....	39
Potencia Máxima (P_{max})	39
Rendimiento (η)	39
Panel Fotovoltaico	40
Tipos de Paneles Fotovoltaicos	40
Celdas de Silicio cristalino	40
Silicio Monocristalino	41
Silicio Policristalino	41
Radiación solar	42
Tipos de radiación.....	43
Radiación directa.	43
Radiación difusa.	43
Radiación reflejada.	43
Orientación de un Panel Fotovoltaico	44
Ángulo de inclinación de un Panel Fotovoltaico	45
Temperatura de un panel Fotovoltaico	47
Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	49
Sistema FV autónomo.....	49
Acumulador Electroquímico.	49
Definiciones.	50

Composición.....	51
Temperatura baja.....	51
Temperatura alta.....	51
Ciclado.....	52
Resistencia al ciclado	52
Tipos de baterías.....	52
Elección de batería.....	53
Inversor	54
Generación distribuida y sistemas conectados a la red.....	55
Artículos Norma técnica AR-NT-POASEN	56
Artículos Norma técnica AR-NT-SUCOM	57
Artículos del reglamento de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables en su modalidad neta sencilla	60
Matemáticas financieras	61
Valor Actual Neto (VAN)	61
Tasa Interna de Retorno (TIR).....	63
CAPÍTULO III.....	65
Marco Metodológico.....	65
Método de la investigación.....	66
Fuentes de información.....	66
Variables o Unidades de Análisis.....	66
Instrumentos	67
Proceso para la recolección y análisis de datos	67
Diagnostico.....	68
Consumo total.....	73
Tarifa T-MT	74
Tarifa T-A.....	74

Cargas significativas	74
Propuesta 1 Sistema fotovoltaico interconectado a la red	76
Propuesta 2 Sistema fotovoltaico conectado a banco de baterías.....	78
Propuesta 3 Sistema fotovoltaico interconectado a la red a menor capacidad de generación	81
CAPÍTULO IV	91
Análisis de Resultados	91
Propuesta 1.....	94
Propuesta 2.....	95
Propuesta 3.....	96
CAPÍTULO V	102
Conclusiones y Recomendaciones	102
Conclusión 1	103
Conclusión 2	105
Conclusión 3	107
Conclusión 4	109
Conclusión 5	111
Recomendaciones	112
Referencias	114
Bibliografía	115
Anexos	118
Anexo A	119
Anexo B	120
Anexo C	122
Anexo D	124
Anexo E	127
Anexo F.....	128

Anexo G.....	137
Anexo H.....	138
Anexo I.....	140

Índice de figuras

Figura 2. 1 Conductor THHN.....	25
Figura 2. 2 Acometida eléctrica.....	27
Figura 2. 3 Centro de carga.....	28
Figura 2. 4 Interruptores AFCI.....	28
Figura 2. 5 Sistema de puesta a tierra.....	30
Figura 2. 6 Partes básicas de una puesta a tierra.....	31
Figura 2. 7 Brillo solar anual en Costa Rica.....	34
Figura 2. 8 Producción de electricidad por energía solar.....	35
Figura 2. 9 Efecto fotovoltaico.....	36
Figura 2. 10 Componentes básicos de una celda fotovoltaica. Características de una celda fotovoltaica.....	38
Figura 2. 11 Terminología fotovoltaica.....	40
Figura 2. 12 Tipos de paneles fotovoltaicos.....	41
Figura 2. 13 Curva de radiación solar y horas solares pico.....	42
Figura 2. 14 Componentes de la radiación solar terrestre.....	43
Figura 2. 15 Inclinación del sol a lo largo del año.....	45
Figura 2. 16 Orientación de un arreglo fotovoltaico para la máxima producción anual.....	45
Figura 2. 17 Diagrama de inclinación de un panel fotovoltaico forma óptima de recepción de rayos solares.....	46
Figura 2. 18 Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de radiación.....	48
Figura 2. 19 Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (radiación constante 1000W/m ²	48
Figura 2. 20 Sistema autónomo.....	49
Figura 2. 21 Sistema conectado a la red eléctrica pública.....	54
Figura 2. 22 Inversor marca Frenius.....	55

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Ley de Ohm	33
Ecuación 2 Potencia eléctrica.....	33
Ecuación 3 Irradiancia	34
Ecuación 4 Valor actual neto.....	61
Ecuación 5 Tasa interna de retorno.....	63

Índice de tablas

Tabla 2. 1 Inclinación de acuerdo a la estación del año.....	46
--	----

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Área disponible.....	69
Ilustración 2 Acomodo de módulos solares	70
Ilustración 3 Lista de componetes del sistema	71
Ilustración 4 Parámetros del sistema.....	71
Ilustración 5 Simulación de producción anual a través de los meses.....	72
Ilustración 6 Pérdidas del sistema	72
Ilustración 7 Facturación de la compañía	73
Ilustración 8 Valor por KWh para la tarifa T-MT ICE.....	74
Ilustración 9 Valor por KWh generado descargado de la red	74
Ilustración 10 Datos introducidos en herramienta de Excel	77
Ilustración 11 Ahorro anual aproximado con sistema FV implementado	77
Ilustración 12 Año de retorno de inversión	77
Ilustración 13 Ahorro anual aproximado con sistema FV implementado	79
Ilustración 14 Resumen de las propuestas 1 y 2	79
Ilustración 15 Mejor y peor escenario para sistema conectado a baterías	80
Ilustración 16 Resultados a media capacidad de instalación de módulos	81
Ilustración 17 Variables respectivas para la propuesta 3	82
Ilustración 18 Ahorro anual en la facturación eléctrica	84
Ilustración 19 Análisis por año con sistema fotovoltaico implementado (hasta año 12)	85

Ilustración 20 Análisis por año con sistema fotovoltaico implementado (de año 13 a 24)	85
Ilustración 21 Análisis por año con sistema fotovoltaico implementado (año 25).....	85
Ilustración 22 Análisis de generación versus consumo mensual.....	86
Ilustración 23 Tiempo de retorno de la inversión	87
Ilustración 24 Media de radiación solar global por mes.....	88
Ilustración 25 Métodos de cálculo	88
Ilustración 26 Mejor mes de inicio del proyecto	89
Ilustración 27 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico de la propuesta 3	101

Índice de cuadros

Cuadro 1 Consumos de las cargas por mes en KWh sin sistema fotovoltaico implementado.....	75
Cuadro 2 Consumos de las cargas por mes en KWH con sistema fotovoltaico implementado.....	75
Cuadro 3 Consumos totales de la compañía en KWh con la implementación del sistema fotovoltaico	76
Cuadro 4 Comparación de propuestas financieramente	108

Glosario de términos técnicos

Amperio: Es la unidad de intensidad de corriente eléctrica.

Voltios: Es la unidad derivada del Sistema Internacional para el potencial eléctrico, la fuerza electromotriz y la tensión eléctrica.

Potencia eléctrica: Es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.

Irradiancia: Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

NFPA: Es una organización fundada en Estados Unidos en 1896, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio, utilizados, tanto por bomberos, como por el personal encargado de la seguridad.

FV: Fotovoltaico.

Dedicatoria

A mi madre, quien a pesar de mis fallas nunca dejó de creer en mí, la que siempre estuvo conmigo dándome apoyo, fortaleza y motivación cuando momentos difíciles aparecían, en los cuales solo ella conseguía ver el final de ellos.

A mi padre quien, aunque hoy no esté conmigo, debe estar muy orgulloso de lo largo que he conseguido llegar desde donde sea que él esté.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por haberme dado las fuerzas necesarias para conseguir salir victorioso de los retos del día a día y poder llegar hasta donde estoy hoy con muchos de mis logros alcanzados.

A mi madre, por ser el motor que hace que nunca me dé por vencido y siga adelante en busca de nuevos retos y que siempre quiso lo mejor para mí.

A mi cuñado y hermanos, quienes formaron parte de mi entorno en todo el proceso de mi formación profesional, dándome consejos o regañadas, las cuales aprecio ya que hicieron cambios en mí, como persona y como profesional.

A mis compañeros de carrera con los cuales conviví y disfruté todos estos años de estudio, los mismos con los que lloré cuando las materias parecían ser imposibles y con los que sonreí cuando todo salía a la perfección.

Y a todas aquellas personas que me brindaron parte de su experiencia para poder llevar a cabo este trabajo de investigación.

Resumen

Para la elaboración de este trabajo de investigación, inicialmente se procedió a realizar la búsqueda e investigación relacionada con los temas de interés de este trabajo, consultando a través de diferentes fuentes de información y entidades a nivel nacional, tales como sitios webs relacionadas con el tema, experiencia técnica profesional y trabajos realizados vinculados a la energía fotovoltaica que fue necesaria para la elaboración de la presente investigación.

Para llevar a cabo el planteamiento y análisis de las distintas propuestas se utilizaron dos herramientas de Excel, estas brindan, tanto los resultados como gráficos para una mejor comprensión de la situación de la propuesta

Con base en la información obtenida de todo el proceso de utilización de la herramienta, los resultados obtenidos fueron analizados para la selección de la mejor propuesta para llevar a cabo. Pudiéndose concluir que de los tres escenarios el tercero resultó ser el que genera una mayor ganancia, así mismo, como el descubrimiento o entendimiento de que proyectos solares para situaciones donde se encuentra la tarifa de media tensión T-MT, se tiene la desventaja de que el valor por KWh es tan bajo en el periodo valle que no deja que genere un gran ahorro como podría suceder si fuese implementado bajo una tarifa distinta.

CAPÍTULO I

Introducción

Actualmente, las tecnologías avanzan hacia el camino del ahorro dentro del mercado dando soluciones eficientes y autónomas como, en este caso, lo son los sistemas de generación de energía fotovoltaica que cumplen un rol importante en la industria ya que de esta forma permiten obtener un ahorro en la facturación increíblemente significativo dando la oportunidad de que ese dinero que se recupera que antes no se contaba con él sea de utilidad para otras áreas dentro de la empresa dando campo para la mejora de la empresa.

Así mismo, no solo se obtienen beneficios a nivel financiero, sino que también, al mismo tiempo se contribuye con el medio ambiente, evitando a nivel de gestión ambiental la disminución de la huella de carbono que Costa Rica tiene como meta país, actualmente, esa reducción que normalmente es muy difícil llevar a cabo debido a los distintos costos para la empresa que esto implica, sin embargo, con un proyecto como lo son los sistemas de generación fotovoltaica la empresa obtiene beneficios y ayuda al medio ambiente al mismo tiempo haciendo de estos proyectos atractivos a la implementación.

Es por eso que en este trabajo de investigación se hará el estudio pertinente para reconocer y recomendar cuál tipo de sistema fotovoltaico es el que mayor beneficio le trae a la empresa y que al mismo tiempo sean capaces de ayudar con el medio ambiente y en la disminución de fenómenos, tales como lo es el efecto invernadero que daña la capa de ozono y es la mayor afectación del calentamiento global que, actualmente se está experimentando a nivel mundial.

Problemática:

¿Cuál sistema de generación de energía renovable fotovoltaica conectado a la red o conectado a baterías es el más adecuado y factible para implementar en una empresa productora de materiales a base de PVC ubicada en el Coyol de Alajuela?

Objetivo General:

-Determinar la factibilidad de la implementación de un sistema de generación de energía renovable fotovoltaica conectado a la red o conectado a baterías en una empresa productora de materiales a base de PVC ubicada en el Coyol de Alajuela.

Objetivos Específicos:

-Cuantificar el equipo necesario del sistema de generación de energía renovable fotovoltaica conectado a la red y conectado a baterías.

-Obtener el total de área requerida por los módulos fotovoltaicos que compensará el consumo del equipo de aire acondicionado y oficinas de la empresa productora de materiales a base de PVC ubicada en el Coyol de Alajuela.

-Llevar a cabo una comparación de los resultados obtenidos de ambos sistemas y por medio de ellos hacer la selección y recomendación adecuada del sistema del cual obtengan mayores beneficios financieros.

-Realizar un análisis financiero para ambos casos de estudio con el propósito de visualizar mejor cual implementación traería mayores beneficios a la empresa.

Justificación

Durman Esquivel es una compañía líder de Latinoamérica en materiales a base de PVC, la cual también ofrece soluciones de ingeniería en distintas áreas de la industria. Fue fundada inicialmente en Costa Rica en los años 1959 y originalmente se ubicó en la zona del Coyoil de Alajuela.

Cabe destacar que es una empresa de alto prestigio con instalaciones de grandes dimensiones y por el tamaño de su producción no es de desconocimiento que, en términos de energía, se requiere de mucha energía para poder producir.

Actualmente, cuentan con parqueos abiertos los cuales desean tomar provecho implementando techos para la protección de los vehículos en donde se toma la iniciativa de querer tomar ventaja e iniciar un proyecto de generación de energía fotovoltaica implementando paneles sobre dichos techos procurando disminuir el consumo de energía la cual, actualmente, se pide a la compañía suplidora.

El propósito de dicha implementación es generar en términos de energía el equivalente del consumo de una sección de la empresa la cual se estaría hablando de las oficinas administrativas y el sistema de aire acondicionado dedicado a dichas oficinas. No solo obteniendo así una disminución en la facturación mensual, sino que también, ayudando en la disminución de emisión de huella de carbono el cual es un tema popular, actualmente, en Costa Rica.

Proyecciones

Como producto de este trabajo se entregará lo siguiente:

- 1.** Reporte en digital con el acomodo de los paneles solares sobre el área designada e información importante.
- 2.** Recomendación de propuesta del sistema fotovoltaico más factible.
- 3.** Memoria de cálculo.
- 4.** Diagrama unifilar de la propuesta más factible.
- 5.** Estudios financieros plasmados en el documento escrito final.

CAPÍTULO II

Marco Referencial

Limitantes

1. Dificultad para realizar visitas al lugar por factores, tales como lo es el horario laboral de las oficinas.
2. Debido a la poca disponibilidad de personal, las mediciones del consumo de las oficinas administrativas fueron difíciles de registrar.

Antecedentes

Tesis n°1

Institución: Universidad Internacional de las Américas

Tema: Diseño eléctrico para villas turísticas incluyendo paneles fotovoltaicos

Autores: José Francisco Calderón Varela

Año: 2016

Este proyecto consiste en el diseño de las instalaciones eléctricas necesarias para un proyecto familiar y con posibilidades de explotación comercial, que incluye, además, el diseño y análisis económico de los sistemas fotovoltaicos necesarios para suplir parte de su demanda, con el fin no solo de contribuir con el medio ambiente, sino también, el de disminuir los costos de operación para así poder reinvertir el dinero ahorrado en el mismo proyecto.

El diseño eléctrico se realiza basado en el NEC 2008, vigente en el país para este tipo de proyectos, por ende, se usa su metodología y parámetros con el fin de obtener no solo un diseño eléctrico funcional, sino también, seguro. Este se realiza basado en las necesidades del proyecto, por tanto, en su desarrollo se atravesó por etapas de definición de éstas, evaluación de la ubicación más adecuada para tableros, equipos y otros, además de la búsqueda de las referencias de equipos por instalar, con el fin de definir cargas estimadas en salidas eléctricas específicas.

En cuanto a lo que se refiere al diseño del sistema fotovoltaico, se introduce el concepto de energía solar como fuente de generación eléctrica y el esquema básico de los proyectos fotovoltaicos, sus componentes principales, características que los definen, tipos de sistemas y conceptos básicos que se deben conocer a la hora de su diseño.

En la fase de diseño se utilizó datos de sistemas satelitales, con el fin de obtener la radiación de la zona, temperatura y otros, para estimar cómo estos paneles se comportan en la

realidad desde un amplio rango de temperaturas y luz solar, para lograr llegar a un diseño adecuado para el proyecto en lo que corresponde a la instalación eléctrica, calibre de conductores, protecciones, y desarrollo de la instalación fotovoltaica con inversor central conectado a la red de distribución eléctrica.

El cálculo del sistema se realiza tomando en cuenta el “Performance Ratio” que es la relación de la energía real obtenida por el módulo entre la salida teórica que se debería obtener con el fin de realizar una predicción más precisa de rendimiento y del retorno de inversión a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos.

Finalmente, se lleva a cabo un análisis de viabilidad económica del proyecto donde se calculó el VAN, TIR y retorno de la inversión, los cuales son parámetros básicos para analizar un proyecto a largo plazo. A partir del análisis financiero se determinó la rentabilidad de los sistemas propuestos y su retorno de inversión.

Investigación n°1**Institución:** Universidad de Costa Rica**Tema:** Análisis Técnico-Financiero de la Generación Distribuida en la CNFL**Autores:** Gustavo Valverde, José D. Lara, Adolfo Lobo, José D. Rojas, Andrés Argüello,
Catherine Montiel**Año:** 2015

Este trabajo de investigación tiene como finalidad estudiar y analizar diferentes conceptos, puntos, normativas y algunos otros factores que sean necesarios para la implementación de un sistema de generación distribuida, entre ello se puede mencionar el estudio de las distintas y principales fuentes de energía que se pueden utilizar para la generación distribuida, las diferentes tecnologías que existen para llevar a cabo proyectos con esta finalidad, asimismo, como la variación de coste que hay, algunas barreras ya sean técnicas. Empresariales y o comerciales las cuales dificultan o imposibilitan la implementación.

Algo muy importante que se menciona es los posibles impactos que puedan ser causados a la hora de implementar estos sistemas o proyectos no solo ambientales, sino que también, técnicos y financieros. También, se mencionan algunas experiencias previas de proyectos actuales donde se consigue analizar o estudiar resultados y visualizar qué mejoras se pueden llevar a cabo para hacer de estos proyectos, más eficientes. Se habla sobre la normativa AR-NT-POASEN y sus requerimientos, tanto para los productores como en el área técnica y sus restricciones como tal.

Otro punto importante el cual se habla en este documento es sobre el análisis del potencial en el mercado para estos sistemas de generación distribuida ya que la factibilidad de dichos sistemas varía en función de la tarifa que el cliente tenga y su consumo mensual. Los horarios de producción de energía, así como las magnitudes de demanda que haya.

Y finalmente, el análisis financiero más a fondo donde se comparan los beneficios o impactos negativos de las implementaciones de proyectos. Tanto como el costo de la compra de los materiales, las tarifas regidas para los clientes, los retornos de inversión, costos administrativos y operativos asociados a la implementación de estos sistemas, entre otros.

Siendo éste realmente un estudio sumamente enriquecedor debido a la gran mayoría de áreas que abarca, dando posibilidad al buen estudio de este tipo de proyectos de generación, así como una buena guía a la hora del desarrollo de los propios sistemas y que será de gran utilidad en la investigación para la realización de este trabajo de tesis.

Marco Teórico

Principales elementos que componen un diseño eléctrico

Conductor eléctrico

Un conductor eléctrico es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de carga eléctrica. Son materiales cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales, como el cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones. (Zúñiga, 2014)

Cable THHN

Los conductores de cobre tipo THHN son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, son especialmente aptos para instalaciones especiales por ductos difíciles y usarse en zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas, gasolinas, etc. y otras sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, etc., tal como se especifica en el National Electrical Code. Puede ser usado en lugares secos y húmedos con temperatura máxima de operación de 90 °C. Su tensión de servicio para todas las aplicaciones, es de 600 V. (Desconocido, Electro cables, 2012)



Figura 2. 1 Conductor THHN

Fuente: Wikipedia

Cable TGP

Cable de dos a cuatro conductores de cobre suave, con aislamiento individual termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa protectora de poliamida (nylon), identificados de acuerdo con código de colores, conductor de puesta a tierra opcional, relleno interior integral y cubierta exterior termoplástica de policloruro de vinilo (PVC).

Están diseñados para alimentar circuitos de baja tensión en plantas industriales en donde se requieran características de no propagación de incendio. Pueden instalarse en charolas o tubería conduit y en instalaciones subterráneas o expuestas a la luz solar, en lugares húmedos o secos. (Desconocido, Viakon, 2013)

Calibre de alambre estadounidense

El calibre de alambre estadounidense (en inglés *american wire gauge* o *AWG*) es una referencia de clasificación de diámetros. Cuanto más alto es este número, más delgado es el alambre. El alambre de mayor grosor (AWG más bajo) es menos susceptible a la interferencia, posee menos resistencia interna y, por lo tanto, soporta mayores corrientes a distancias más grandes. (Desconocido, Wikipedia, 2016)

Acometida eléctrica

Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora (también llamada de 'servicio eléctrico') hacia la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica (normalmente conocido como 'usuario').

Un tipo de acometida es aérea, la cual proviene de redes aéreas de baja tensión. La acometida podrá ser aérea para cargas instaladas iguales o menores a 35 kW. (Desconocido, Wikipedia, 2017)

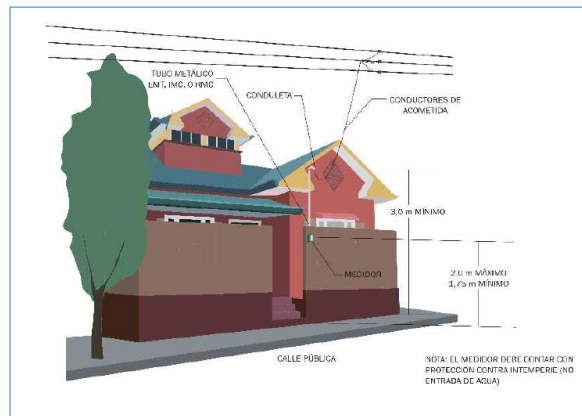


Figura 2. 2 Acometida eléctrica

Fuente: Wikipedia

Medidor eléctrico

El vatímetro, contador eléctrico o medidor de consumo eléctrico es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica de un circuito o un servicio eléctrico, siendo ésta la aplicación usual. Existen medidores electromecánicos y electrónicos. Los medidores electromecánicos utilizan bobinados de corriente y de tensión para crear corrientes parásitas en un disco que, bajo la influencia de los campos magnéticos, produce un giro que mueve las agujas de la carátula. Los medidores electrónicos utilizan convertidores analógico-digitales para hacer la conversión. (Venio, 2010)

Centro de carga e interruptores

Centro de carga

Un centro de carga es un tablero metálico que contiene una cantidad determinada de interruptores magnétotérmicos, generalmente, empleados para la protección y desconexión de pequeñas cargas eléctricas y alumbrado. Los centros de carga pueden ser monofásicos o trifásicos, razón por la cual pueden soportar interruptores termomagnéticos monopolares, bipolares o tripolares. De acuerdo con el número de circuitos, pueden contener 1, 2, 4, 6, 8, 12, 20, 30, 40, 42 y hasta 80 unidades. (Karen, 2010)



Figura 2. 3 Centro de carga

Fuente: Google imágenes

Interruptor termomagnético

Un interruptor magnetotérmico, interruptor termomagnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. (Goró, 2013)

Interruptor de circuito por falla de arco

AFCI tiene la habilidad de detectar y neutralizar un fallo de arco paralelo, que es el flujo inintencionado de electricidad entre dos cables separados. Existen tres tipos de fallos de arco paralelos: línea a línea, línea a tierra y línea a neutral. (Electric, 2017)



Figura 2. 4 Interruptores AFCI

Fuente: Sitio web de EATON

Interruptor de circuito por falla a tierra

Los interruptores con detección de falla a tierra (GFCI, por sus siglas en inglés de Ground Fault Circuit Interrupters) son dispositivos diseñados para evitar choques eléctricos accidentales o electrocución evitando el paso de la corriente a tierra. El uso de las tomas GFCI es recomendado en lugares “húmedos”, tales como cocinas, baños, lavanderías, vestidores, estacionamiento, patios de servicios, lugares a la intemperie, etc. (Desconocido, MEyE Seguridad y Protección, 2013)

Sistemas de puesta a tierra

La toma de tierra, también denominado hilo de tierra, toma de conexión a tierra, puesta a tierra, pozo a tierra, polo a tierra, conexión a tierra, conexión de puesta a tierra, o simplemente tierra, se emplea en las instalaciones eléctricas para llevar a tierra cualquier derivación indebida de la corriente eléctrica a los elementos que puedan estar en contacto, ya sea directa o indirectamente, con los usuarios (carcasas, aislamientos, etc.) de aparatos de uso normal, por un fallo del aislamiento de los conductores activos, evitando el paso de corriente al posible usuario.

La puesta a tierra es una unión de todos los elementos metálicos que, mediante cables de sección suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos, permite la desviación de corrientes de falla o de las descargas de tipo atmosférico, y consigue que no se pueda dar una diferencia de potencial peligrosa en los edificios, instalaciones y superficie próxima al terreno. (Desconocido, Wikipedia, 2016)

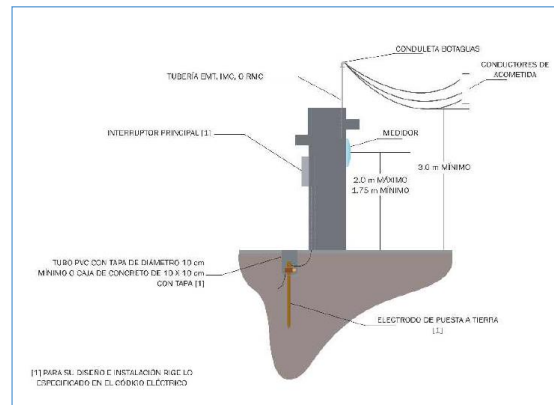


Figura 2. 5 Sistema de puesta a tierra

Fuente: sitio web de Cirprotec

Algunos conceptos básicos que es importante definir son:

Tierra de protección

Los sistemas eléctricos se conectan a tierra con el fin de limitar la tensión que pudiera aparecer en ellos, por estar expuestos a descargas atmosféricas, por interconexión en casos de fallas con sistemas de conexiones superiores, o bien, para limitar el potencial máximo con respecto de tierra, producto por la tensión nominal del sistema. Este tipo de conexión se denominará Tierra de Servicio.

Tierra de servicio

Los equipos eléctricos se conectan a tierra para evitar que la carcasa o cubierta metálica de ellos represente un potencial respecto de tierra que pueda significar un peligro para el operario o usuario del equipo. Este tipo de conexión a tierra se denominará Tierra de Protección.

Electrodo de tierra

Se entiende por electrodo de tierra a un conductor (cable, barra, tubo, placa, etc.) enterrado en contacto directo con la tierra o sumergido en agua que esté en contacto con la tierra. (Cardozo, 2015)

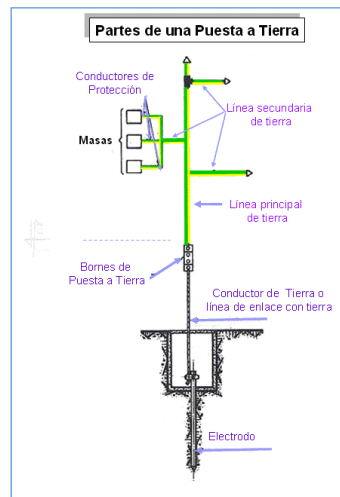


Figura 2. 6 Partes básicas de una puesta a tierra

Fuente: Google imágenes

Mediciones de tierras

Las características eléctricas del terreno en donde se entierran los electrodos de una instalación de tierra es la principal causa de las indeterminaciones que se presentan en el estudio de una instalación. A los efectos del comportamiento eléctricos del terreno interesa su resistividad, más ésta depende de la naturaleza química de la humedad presente, de la temperatura y de otras causas. No se puede pensar de un tratamiento analítico del problema sin antes considerar un gran número de variables y valoraciones, las cuales, dadas las diversas cualidades del terreno, no son de segura determinación. (Rojas, 2017)

Factores que afectan la resistividad del terreno

Humedad y temperatura

Indudablemente que sí, la resistividad del terreno está muy influenciada primordialmente por la humedad y en menor medida no menos importante por su temperatura, son tan significativos estos efectos, que la resistencia del terreno disminuye con el aumento de la humedad y con el incremento de la temperatura. El conocimiento de la acción de la humedad y temperatura sobre la resistencia del electrodo para puesta a tierra resulta indispensable para que una instalación de tierra conserve en el tiempo sus características.

Humedad y sales disueltas

Para los efectos prácticos, el resultado de la resistencia por la acción de la humedad y la temperatura obliga a mantener presente oportunos coeficientes para la determinación de la resistencia que se debe asignar a los electrodos con el fin de un buen funcionamiento en las instalaciones a tierra. Se podría omitir el factor de temperatura, para no efectuar, tanto la influencia de la humedad en el terreno. Otra causa de imprecisión en el conocimiento de la resistencia del terreno es la variación de valores de esta magnitud, cuando se pasa de capas superficiales o capas profundas, sobre todo, cuando se usa el electrodo cilíndrico de distinta naturaleza y resistividad.

Temperatura

No se ha recopilado mucha información sobre los efectos de la temperatura. Dos hechos conducen a la conclusión lógica de que un incremento en la temperatura disminuirá la resistividad: (1) El agua presente en el terreno, principalmente, determina la resistividad (2) Un incremento en la temperatura disminuye notoriamente la resistividad del agua.

Tipo de suelo

Ya se trate de un suelo mayormente arcilloso o muy arenoso, la resistividad de la tierra puede cambiar mucho. No es fácil definir exactamente a un suelo dado; la arcilla puede cubrir a una amplia variedad de suelos de tal manera que no se puede decir que cualquier suelo dado tiene una resistividad de tantos ohms-m.

Fórmulas necesarias

Ley de Ohm

$$V=I \times R$$

Ecuación 1 Ley de Ohm

Donde:

V es la diferencia de potencial [V]

I es la intensidad de corriente [A]

R es la resistencia eléctrica [Ω]

Potencia eléctrica

$$P=V \times I$$

Ecuación 2 Potencia eléctrica

Donde:

P es la potencia disipada [VA]

V es la diferencia de potencial [V]

I es la intensidad de corriente [A]

Conceptos importantes sobre energía solar

Irradiancia

Esta magnitud es utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En unidades del sistema internacional se mide en W/m² (watio / metro cuadrado).

$$I = \frac{P_{inc}}{A_s}$$

Ecuación 3 Irradiancia

P_{Inc} = Potencia incidente por unidad de superficie

A_s = Área de la superficie en que incide la onda

Insolación

La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o un año (insolación anual). (Sebastián, 2013)

Heliofanía

La heliofanía representa la duración del brillo solar u horas de sol, y está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. La ocurrencia de nubosidad determina que la radiación recibida por el instrumento sea radiación solar difusa, interrumpiéndose el registro. Por lo tanto, si bien, hay energía incidente disponible, la concentración o densidad de la misma no es suficiente para ser registrada. (Furest, 2017)

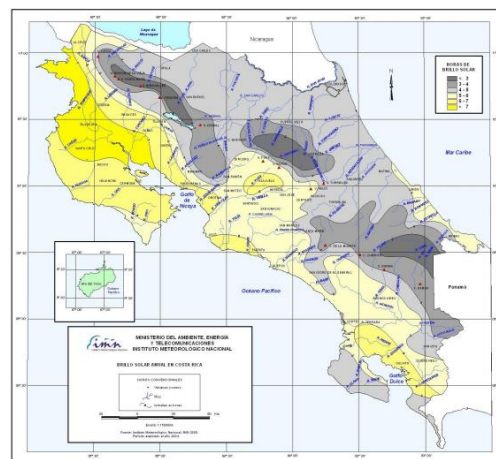


Figura 2. 7 Brillo solar anual en Costa Rica

Fuente: Google imágenes

Energía solar

La energía solar es la potencia radiante producida por el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión, que llegan a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía. Estos son llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. Es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía se puede percibir en forma de luz y calor.

La energía solar cumple un rol fundamental como fuente de vida y origen de la mayoría de las formas de energía en la tierra, además de que es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia, sustentable y que se encuentra en todo el mundo sin dependencias externas de ningún tipo.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de electricidad en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica, pero para poder producirla se requiere de la utilización de dispositivos que capten la energía solar y la transformen en otra energía compatible con la demanda que se pretende satisfacer. Las diferentes tecnologías fotovoltaicas se adaptan para sacar el máximo rendimiento posible de la energía solar (figura 2.8). (Desconocido, 2017)



Figura 2. 8 Producción de electricidad por energía solar

Fuente: Google imágenes

Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una celda fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Cuando los fotones inciden sobre una celda fotovoltaica pueden ser reflejados, absorbidos, o pueden pasar a través de la celda. Únicamente, los fotones absorbidos generan electricidad. Una celda fotovoltaica típica de silicio, como se muestra en la figura 2.9, se compone de dos partes unidas formando un emparedado.

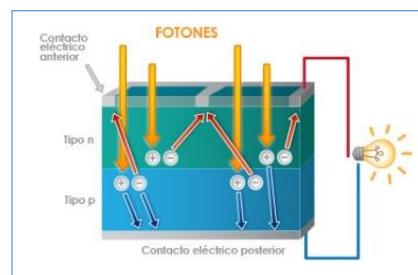


Figura 2. 9 Efecto fotovoltaico

Fuente: Sitio web de Resultados Energéticos

La parte superior de la celda es dopada o "contaminada" de manera controlada con fósforo para darle un carácter negativo o denominado tipo N. La parte posterior es dopada con boro para darle un carácter positivo o denominado tipo P. Esta diferencia de cargas forma un campo eléctrico estático entre ambas capas el cual le llaman unión. Es entonces que la luz solar o partículas, conocidas como fotones, son absorbidas en la región de la unión liberando electrones en la celda, que a la vez superan el campo eléctrico, para pasar a través de la celda. Finalmente, estos electrones recorren un circuito externo produciendo así electricidad. Las celdas fotovoltaicas son usualmente interconectadas eléctricamente para obtener el voltaje y corriente necesarios para una aplicación dada. (Desconocido, Galeon , 2017)

Celdas Fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química. Aunque las celdas pueden ser hechas de diversos materiales, es el silicio en su grado de pureza electrónico el más utilizado en escala comercial.

Las celdas FV no tienen partes mecánicas, están hechas de delgadas capas de material semiconductor y son capaces de generar corrientes de 2 a 4 amperes, a un voltaje de 0.46 a 0.48Volts, tienen la propiedad de tener una gran conductividad y una ausencia total de resistividad eléctrica, están unidas a contactos de metal para completar el circuito eléctrico que se encuentran encapsuladas en vidrio o plástico. Las celdas se montan en serie sobre paneles solares para conseguir un voltaje adecuado. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la celda.

Componentes Básicos de una Celda Fotovoltaica

Los Componentes básicos de una celda FV son los siguientes:

Placa de vidrio.

Es aquella que permite ingresar la luz a las celdas y protege a los semiconductores.

Capa anti-reflectiva.

Es aquella que está entre la placa de vidrio y el semiconductor, y tiene la función de minimizar la pérdida de luz por reflejo.

La capa de semiconductor tipo n.

Es aquella que tiene una concentración de electrones excitados mayor a la de la capa tipo p, lo cual provoca que las cargas eléctricas de esta capa se pasen a la capa de tipo p provocando una diferencia de potencial con la otra capa.

Plancha de semiconductores tipo n y tipo p.

Es aquella en la que se encuentran colocados los semiconductores tipo n y tipo p y están enlazados a través de un camino o vía que actúa como conductor por el cual circulan los electrones para ir del semiconductor tipo n al tipo p, generando un campo eléctrico en este cable.

La capa de semiconductor tipo p.

Es aquella que tiene una deficiencia de electrones, lo cual atrae a los electrones excitados provenientes de la capa tipo n, provocando que se genere una diferencia de potencial entre ambas capas de semiconductor, mejor conocido como voltaje. (Medrano , Díaz, Cruz, & López, 2017)

La figura 2.10 muestra los componentes descritos anteriormente

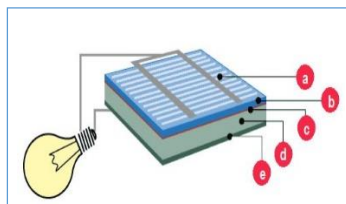


Figura 2. 10 Componentes básicos de una celda fotovoltaica. Características de una celda fotovoltaica

Fuente: Sitio web de Greenheiss

Corriente de cortocircuito (I_{cc})

Esta magnitud es la intensidad que circula con la celda en cortocircuito, con una iluminación determinada y fija. Su valor es directamente proporcional a la energía solar recibida, y, por lo tanto, a la superficie total y al nivel de iluminación.

Voltaje de circuito abierto (V_{co})

Esta magnitud es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda en ausencia de consumo, con una iluminación fija y a una temperatura determinada. Su valor depende del acoplamiento utilizado y varía muy poco con la intensidad luminosa.

Esta magnitud es la intensidad que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, aplicada una carga (R_m) de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

2.8.9 Voltaje óptimo (V_m)

Esta magnitud es la tensión que origina la corriente óptima, al ser aplicada sobre una carga R_m de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

Potencia Máxima (P_{max})

Es la máxima energía que es entregada por una celda FV cuando pasa por un valor máximo para valores determinados de tensión y corriente fijados en función de la resistencia óptima de carga (R_m). Su unidad de medición es el Watt.

Rendimiento (η)

Esta magnitud es la relación entre la energía eléctrica entregada y la energía luminosa recibida. Su valor ronda el 18 %, según la tecnología constructiva de la celda. (Espluga, 2004)

Panel Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre sí. Un panel fotovoltaico es usado como componente de un sistema FV para ofrecer electricidad limpia y renovable, tanto a la industria comercial como a la residencial. La mayoría de los paneles FV son rígidos, pero ya existen paneles flexibles basados en las celdas solares delgadas. Las conexiones eléctricas son hechas en serie para alcanzar la salida de voltaje deseada, y en paralelo para lograr la cantidad de corriente necesaria. (Antonio, Guerrero, Hernández , & Santillán, 2011) En la figura 2.11 se muestra visualmente la terminología fotovoltaica.

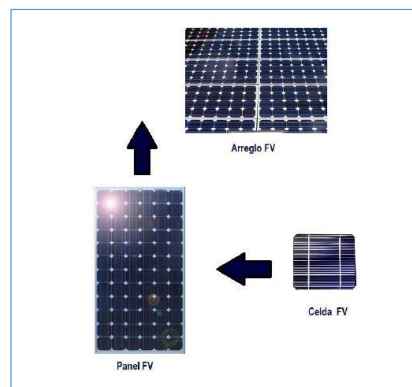


Figura 2. 11 Terminología fotovoltaica

Fuente: Sitio web de Energía Ecológica

Tipos de Paneles Fotovoltaicos

Existen distintos tipos de paneles fotovoltaicos, su clasificación depende de su proceso de fabricación, ya que tienen diferente rendimiento, aplicación y precio.

Celdas de Silicio cristalino

Son las celdas que predominan hoy en el mercado mundial. Esto se debe a sus características: madurez, confiabilidad y larga vida útil (de 20 a 30 años).

Silicio Monocristalino

Este tipo de celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado, proporcionando con eso confiabilidad en el dispositivo.

Silicio Policristalino

Estas son fabricadas de Silicio, mezclado con Arsenio y Galio. Son más sencillas de conseguir y tienen un rendimiento menor que las anteriores, pero no son nada despreciable. Son perfectas para lugares en los que las condiciones ambientales hagan que, la celda no se rompa aun siendo éstas muy duraderas para otras condiciones ambientales.

Silicio Amorfo

Este tipo de celdas tienen baja durabilidad, pero bajo costo. Su eficiencia es más baja de 6 a 10% y tiende a cero con su envejecimiento. Proporcionan una cantidad de energía muy baja.

La figura 2.12 muestra los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos antes descritos



Figura 2. 12 Tipos de paneles fotovoltaicos

Fuente: Sitio web de Energía Ecológica

Radiación solar

Es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watt-hora por metro cuadrado (Wh/ m). La Radiación también, se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una radiación promedio de 1,000 W/m², es decir, la potencia incidente de 1000 Watts por unidad de superficie. La energía útil que entrega el panel fotovoltaico es directamente proporcional a la radiación incidente. Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina radiación atenuada siendo más complejo calcularla. En la figura 2.13 se muestra la radiación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla en la misma.

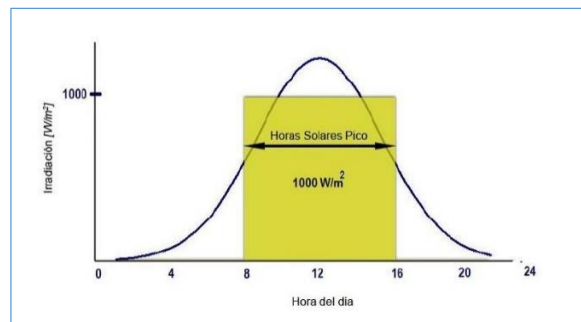


Figura 2. 13 Curva de radiación solar y horas solares pico

Figura: Google imágenes

La radiación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto del sol afectan la radiación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la radiación promedio en un periodo es menor. En días de invierno los niveles de radiación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°. (Márquez, 2014)

Tipos de radiación

Radiación directa.

La radiación directa es, como su propio nombre indica, la que proviene directamente del sol.

Radiación difusa.

La radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que "ven" toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo "ven" la mitad de la semiesfera celeste.

Radiación reflejada.

La radiación reflejada es, como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben. (Desconocido, Wiki EOI, 2012)

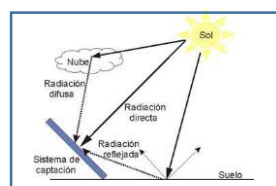


Figura 2. 14 Componentes de la radiación solar terrestre

Fuente: Google imágenes

Orientación de un Panel Fotovoltaico

La orientación e inclinación son aspectos determinantes en los arreglos fotovoltaicos para su producción eléctrica. La radiación solar que incide sobre una placa variará con el ángulo que forme la misma con la radiación. La captación de energía solar será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación. La inclinación de los rayos del sol respecto de la superficie horizontal es variable a lo largo del año (máxima en verano y mínima en invierno) y, por tanto, en aquellas instalaciones cuyos paneles estén fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía sobre una base anual como se muestra en la figura 2.15. Es decir, conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto del plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida. Si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales. Puede ocurrir que la instalación no vaya a usarse todo el año, sino sólo en ciertas épocas. Si la instalación se va a usar preferentemente en verano conviene que la inclinación del colector sea menor que la latitud del lugar, aproximadamente en 15° . Evidentemente, las pérdidas de las superficies horizontales con respecto de las que están inclinadas aumentan progresivamente a medida que nos acercamos al norte (en el hemisferio norte) o al sur (en el hemisferio sur). En los polos, los planos horizontales son inútiles. No obstante, es extremadamente difícil valorar las pérdidas en los climas templados ya que la proporción de luz difusa del sol es más grande debido a la presencia de polvo, vapor de agua y nubes. La orientación no ofrece ninguna ventaja en cuanto a la energía recibida desde la radiación indirecta. Por el contrario, debido a que los paneles inclinados reciben la luz de una parte del hemisferio, estos recogen menos luz difusa que los receptores horizontales.

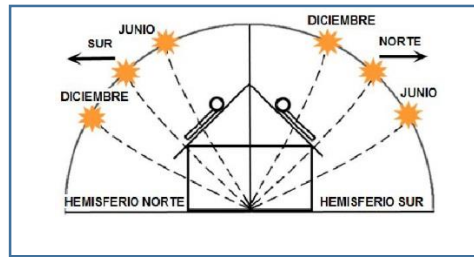


Figura 2. 15 Inclinación del sol a lo largo del año

Fuente: Google imágenes

La localización aparente del sol al Este u Oeste del Sur Verdadero se llama azimut, el cual se mide en grados al Este u Oeste del Sur, como hay 360 grados en una circunferencia y 24 horas en un día, el sol parece moverse 15 grados en azimut cada hora (360 grados divididos entre 24 horas). El Sur magnético o el Sur marcado por una brújula se orientan con el campo magnético de la Tierra, el cual no está necesariamente alineado con el eje de rotación de la Tierra. La desviación del Sur magnético respecto del Sur geográfico o Sur verdadero recibe el nombre de declinación magnética. En la figura 2.16, se muestra la orientación de un arreglo FV para la máxima producción anual.

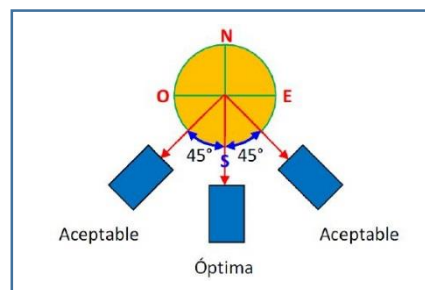


Figura 2. 16 Orientación de un arreglo fotovoltaico para la máxima producción anual

Fuente: Google imágenes

El rendimiento diario puede optimizarse si los colectores montados se fijan frente al Sur geográfico (verdadero) o con azimut 0 grados, que es la mejor orientación genérica.

Ángulo de inclinación de un Panel Fotovoltaico

La altura del sol por encima del horizonte se llama altitud, la cual se mide en grados por encima del horizonte. Cuando el sol parece estar saliendo o poniéndose, su altitud es de cero

grados. Cuando el sol está al Sur verdadero en el cielo con azimut de cero grados, estará en su altitud máxima para ese día. Ese momento se llama mediodía solar. La latitud de una localidad determina cuan alto aparecerá el sol por encima del horizonte en el mediodía solar a lo largo del año. Como resultado del movimiento orbital alrededor del sol con un eje inclinado, el sol aparece a diferentes altitudes por encima del horizonte a mediodía a lo largo del año. Para optimizar el rendimiento de un sistema, se deben considerar los cambios estacionales en la altitud del sol. En la figura 2.17 se puede apreciar que la elevación del panel FV es igual a la latitud, así como la forma óptima de recepción de rayos solares.

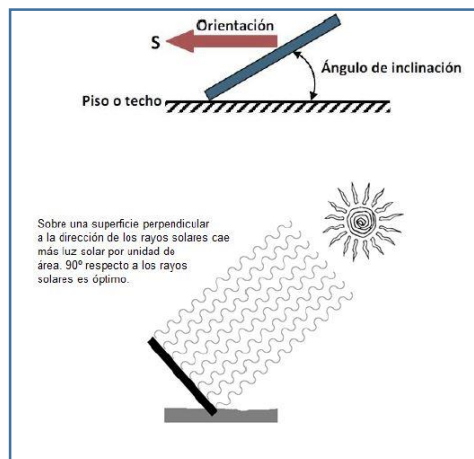


Figura 2. 17 Diagrama de inclinación de un panel fotovoltaico forma óptima de recepción de rayos solares

Fuente: Google imágenes

En la tabla 2.1 se bosqueja el ángulo de inclinación óptimo de un arreglo fotovoltaico para diferentes cargas estacionales.

Tabla 2. 1 Inclinación de acuerdo con la estación del año.

Fuente: Sitio web de Sunfields Europe

Ángulo de inclinación	Resultado
Latitud del lugar de la instalación	Máxima generación eléctrica anualizada y durante la primavera y el otoño.
Latitud del lugar de la instalación menos 15°	Máxima generación eléctrica en el verano.
Latitud del lugar de la instalación más 15°	Máxima generación eléctrica en el invierno.

Los arreglos fotovoltaicos trabajan mejor cuando los rayos del sol inciden perpendicularmente (90 grados) a las celdas. Como los sistemas acoplados a la red tienen al sistema eléctrico público como fuente de respaldo, hay más flexibilidad en la ubicación del arreglo que para los sistemas autónomos.

Para un arreglo acoplado a la red, si no se puede lograr el ángulo óptimo, el sistema producirá un por ciento de la energía total disponible ya que el servicio público proveerá la diferencia. Como los sistemas acoplados a red compensan el uso promedio anual de la energía, (en lugar de alimentar directamente a las cargas), los diseñadores pueden elegir un montaje empotrado del arreglo en la cubierta más por razones estéticas que para lograr los ángulos de inclinación y orientación óptimos.

Temperatura de un panel Fotovoltaico

El aumento de temperatura en las celdas supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión. El efecto global es que la potencia del panel solar disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Tanto la corriente de cortocircuito como el voltaje a cortocircuito abierto, se ven afectados por la temperatura de trabajo, así mismo, como su magnitud porcentual, son distintos para estos dos parámetros. Cuando la temperatura de trabajo es menor que 25°C, el voltaje de circuito abierto crece, y la corriente de cortocircuito disminuye. Para la mayoría de los paneles FV cuando la temperatura de trabajo aumenta, el valor de la potencia de salida disminuye. En la práctica, debido a la disipación de calor dentro de las celdas del panel, salvo en climas muy fríos, la temperatura de trabajo excede los 25°C. Cuando ello ocurre, la potencia de salida nunca alcanza el valor pico especificado por el fabricante. El diseño de un sistema FV debe tener en cuenta esta degradación del panel, a fin de asegurar que los requerimientos eléctricos del sistema pueden ser satisfechos durante los días más calurosos del verano. Para el periodo invernal, si el

mínimo para la temperatura promedio es menor a los 25°C, no se considera ninguna degradación para la potencia de salida pico.

El funcionamiento del módulo FV se ve afectado por la intensidad de la radiación y de la temperatura. La figura 2.18 muestra el comportamiento de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de la radiación solar. Se presenta un aumento proporcional de la corriente producida con el aumento de la intensidad. También, se debe observar que el voltaje a circuito abierto (Vca), no cambió, lo cual demuestra su estabilidad frente a los cambios de iluminación.

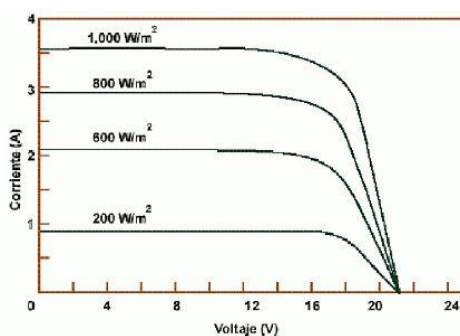


Figura 2. 18 Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de radiación

Fuente: Sitio web de Twenergy

En la figura 2.19 se muestra el efecto que produce la temperatura sobre la producción de corriente en el módulo. El efecto se manifiesta en el voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25 °C. (Greenloft, 2014)

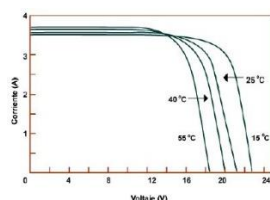


Figura 2. 19 Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (radiación constante 1000W/m²)

Fuente: Sitio web de Twenergy

Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Sistema FV autónomo

Los sistemas autónomos son los que están conectados a baterías que permiten el suministro eléctrico en periodos de poco o nulo aprovechamiento de la radiación solar. Estos, a su vez, pueden diferenciarse por el consumo al que están conectados: así puede haber sistemas autónomos con elementos de consumo en corriente alterna o elementos de consumo de corriente continua, como se muestra en la figura 2.20.

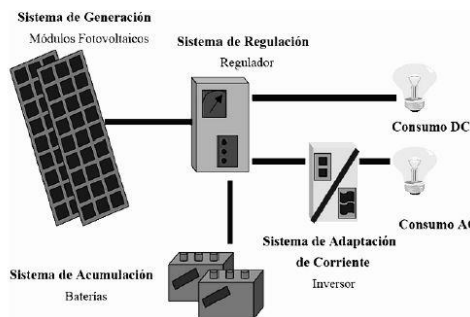


Figura 2. 20 Sistema autónomo

Fuente: Sitio web de Cime

Acumulador Electroquímico.

Un acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Sus principales funciones son:

- **Autonomía:** satisface los requerimientos de consumo en cualquier momento, independientemente de la generación.
- **Suministro de picos de intensidad:** cuando es necesario, puede suministrar valores de intensidad superiores a los que proporciona el generador FV.
- **Estabilización del voltaje:** evita fluctuaciones dañinas para los equipos de consumo.

Definiciones.

Capacidad nominal (C_{nom}) es la carga eléctrica que puede ser extraída de una batería hasta llegar a la descarga total.

Régimen de carga/descarga es la corriente aplicada a una batería para restablecer/extraer la capacidad nominal. Normalmente, se presenta como un ratio entre la capacidad nominal y la corriente.

Estado de carga (SoC) de una batería es la capacidad de una batería parcialmente cargada, dividida por su capacidad nominal. Por tanto, siempre será $0 < \text{SoC} < 1$.

Profundidad de descarga (PD) es el complemento del estado de carga.

Tensión de corte: es la tensión a la que finaliza la descarga de la batería. Depende del régimen de descarga y del tipo de batería. Determina la profundidad de descarga máxima, PD_{max} , y, por tanto, la capacidad útil, CU, siendo

$$CU = PD_{max} \cdot C_{nom}$$

Eficiencia farádica es el ratio entre la carga extraída durante la descarga y la carga requerida para restablecer el estado inicial.

Eficiencia energética es el ratio entre la energía extraída durante la descarga y la energía requerida para restablecer el estado inicial.

Composición.

Una batería de ácido-plomo se compone de:

- Un ánodo o electrodo positivo con PbO_2
- Un cátodo o electrodo negativo con Pb .
- Electrolito a base de H_2SO_4 diluido en agua

Temperatura baja.

El electrolito se hace más viscoso y decrece la movilidad de los iones (aumenta la resistencia eléctrica)

- Baja la capacidad para un régimen de descarga determinado a razón de $1\%/^{\circ}C$
- Si el electrolito se congela, no hay movimiento iónico, y por tanto, la capacidad es nula. Para evitarlo, hay que recurrir a densidades altas de electrolito en lugares muy fríos.

Temperatura alta.

- Acelera las reacciones, favoreciendo la corrosión. Por tanto, decrece la vida de la batería.
- En climas cálidos, se debe optar por bajas concentraciones de electrolito (que se ve compensada por la mayor movilidad iónica debida a la alta temperatura).
- Baja el valor de tensión al que empieza la sobrecarga debido a que la resistencia interna baja con la temperatura.
- Hay que corregir el umbral de corte con la temperatura (se puede utilizar la ambiente como referencia).

Ciclado.

- **El ciclado es el proceso por el que un acumulador es** continuamente cargado y descargado durante su vida.
- Produce **degradación** de la batería por **perdida de material activo** (descargas repetidas) y **estratificación**.

Resistencia al ciclado

Los factores que influyen sobre la resistencia del acumulador al ciclado son:

- **La profundidad de descarga:** las descargas profundas disminuyen los ciclos de vida de una batería.
- **El régimen de carga:** cuanto mayor es el régimen de carga y el porcentaje de sobrecarga, menor será la vida alcanzada.
- **La temperatura:** las temperaturas altas aceleran la corrosión en los electrodos disminuyendo los ciclos de vida.

Tipos de baterías.

Baterías de arranque

- Habitualmente empleadas en automóviles
- Fácilmente localizables en cualquier mercado local a bajo precio (relativo) - Opción frecuentemente empleada en sistemas de electrificación rural de pequeño tamaño
- Reemplazo de baterías estropeadas
- Buen comportamiento en descarga de alta intensidad y tienen buen rendimiento de descarga a bajas temperaturas.

- No son resistentes frente al ciclado

Baterías de tracción

Empleadas, por ejemplo, en carretillas elevadoras.

- Resistencia suficiente para soportar un elevado número de ciclos profundos de carga-descarga.
- Requieren aportación de agua y mantenimiento frecuente.
- Empleo en SFA sólo cuando exista mantenimiento regular.

Baterías estacionarias

Empleadas en sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) o instalaciones remotas (por ejemplo, radioenlaces).

- Funcionan en régimen de flotación.
- Gran reserva de electrolito, aunque realizan poco uso de agua.
- Resistencia a la corrosión y elevada fiabilidad.
- Opción muy interesante para SFA. Precio más elevado frente a las anteriores opciones.

Elección de batería.

Criterios por tener en cuenta:

- Requisitos técnicos (capacidad, tipo de ciclado, etc.)
- Coste del sistema
- Recursos de mantenimiento disponibles durante la vida del sistema,
- Disponibilidad de reemplazo en el mercado local
- Capacidad de intervención del usuario.

- Para aplicaciones fotovoltaicas se recomienda:

- Baterías estacionarias aireadas de placa positiva tubular

- Baterías SLI modificadas: placas más gruesas, mayor cantidad de electrolito por encima de las placas, con aleación de Pb-Sb en la rejilla y vaso transparente (Lamigueiro, 2018) Sistemas FV interconectado

Son sistemas que necesitan de conexión con la red eléctrica convencional. Son los sistemas en los que la energía generada por el campo fotovoltaico se entrega directamente a la red general de distribución como se muestra en la figura 2.21. Las instalaciones conectadas a la red no poseen baterías ni reguladores, componiéndose únicamente de los módulos fotovoltaicos y del inversor. Los módulos fotovoltaicos son los mismos que para las instalaciones aisladas de la red, sin embargo, los inversores deben disponer de un sistema de medida de la energía consumida y entregada, ser capaz de interrumpir o reanudar el suministro en función del estado de campo de paneles y adaptar la corriente alterna producida en el inversor a la fase de la energía de la red.

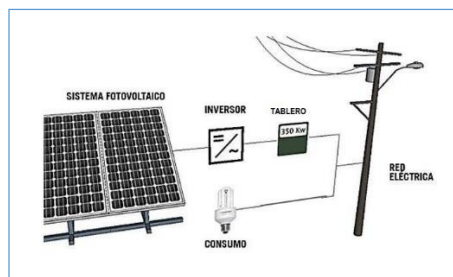


Figura 2. 21 Sistema conectado a la red eléctrica pública

Fuente: Google imágenes

Inversor

El inversor es un convertidor electrostático que por medio del uso de componentes electrónicos de potencia convierten la corriente directa en corriente alterna. Estos inversores generan variedad de ondas en su salida, dependiendo de lo sofisticado que sea el equipo. El

propósito fundamental del inversor de un sistema FV es cambiar la corriente directa de los módulos fotovoltaicos (cuando está conectada con la red eléctrica pública) y las baterías (en los sistemas autónomos o acoplados a la red eléctrica pública con respaldo de baterías) a corriente alterna, y finalmente para alimentar las cargas de corriente alterna. Los inversores también pueden alimentar a la red con electricidad. Los inversores diseñados para acoplarse con la red eléctrica son llamados inversores conectados a la línea o inversores conectados al servicio eléctrico como se muestra en la figura 2.22. (Abella, 2017)



Figura 2. 22 Inversor marca Frenius

Fuente: Google imágenes

Generación distribuida y sistemas conectados a la red

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional.

En cuanto a la legislación costarricense sobre la generación a distribuida para autoconsumo y acceso al Sistema Eléctrico Nacional, de ahora en adelante SEN, se tiene la norma técnica Planeación, Operación y Acceso, al Sistema Eléctrico Nacional AR-NT-POASEN 2015 y su última modificación publicada en marzo de 2016, la norma Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM en su última modificación publicada en marzo de 2016 y el reglamento del MINAE sobre Generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla.

Ambas normas y el reglamento cuentan con capítulos que se refieren a la generación a pequeña escala para autoconsumo.

Artículos Norma técnica AR-NT-POASEN

Artículo 3. Definiciones

Abonado productor o Productor consumidor: toda persona física o jurídica que ha suscrito un contrato para el aprovechamiento de la energía eléctrica y que, además, produce electricidad con fuentes renovables para ser aprovechada exclusivamente por él, en el mismo sitio donde se genera, con el único propósito de suplir parcial o totalmente sus necesidades de energía eléctrica. ("ARESEP", 2015)

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 desde las siguientes modalidades:

- a. **Neta sencilla:** alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de depósito y devolución de energía.
- 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. ("ARESEP", 2015)

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 registrará por lo que establezca, para tales efectos, el Ministerio de Ambiente y Energía como ente rector en la materia. No obstante, lo anterior, en lo que se refiere a su interacción con la red de distribución, estará sujeta a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora en esta materia.

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 registrarán 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 ("ARESEP", 2015)

Artículos Norma técnica AR-NT-SUCOM

En cuanto a esta norma, se agregó el capítulo XII Interconexión, acceso y suministro eléctrico para abonados-usuarios-productores, donde los artículos relevantes para la generación distribuida son:

Artículo 126. Libre interconexión y operación de generadores a la red de distribución.

Las empresas distribuidoras permitirán a sus abonados o usuarios (con la autorización del abonado y su disposición a firmar el contrato respectivo) actuales o futuros, interconectar y operar sistemas de generación para autoconsumo a partir de fuentes de energía renovables, siempre y cuando la red de distribución cuente con las condiciones técnicas para tal efecto y el interesado cumpla con las condiciones técnicas, comerciales y requisitos establecidos en esta norma, y las que con fundamento en ella, establezcan las empresas distribuidoras. ("ARESEP", 2014)

Artículo 127. Requisito para la interconexión de generadores a la red de distribución

Cualquier abonado o usuario actual o futuro, puede constituirse como abonado o usuario productor, mediante la firma de un “Contrato de interconexión para abonados productores”.

Artículo 128. Capacidad de acceso

Las empresas eléctricas efectuarán los estudios técnicos necesarios para cuantificar la capacidad de sus redes de distribución para la operación en paralelo de abonados productores, según lo establecido en el Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla , garantizando que la operación de sus generadores para autoconsumo no interfieran con la calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima del suministro eléctrico, de conformidad con las normas técnicas regulatorias emitidas por la Autoridad Reguladora.

Artículo 129. Limitaciones de acceso

En toda solicitud de conexión de un generador a la red de distribución, la empresa distribuidora deberá efectuar el estudio de viabilidad técnica correspondiente, velando porque el suministro eléctrico al interesado y a los demás abonados o usuarios, se mantenga acorde con los criterios normativos emitidos por la Autoridad Reguladora en lo que respecta de calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima. ("ARESEP", 2014)

Artículo 131. Punto de interconexión

El punto de interconexión, para efectos comerciales, técnicos y de límites de responsabilidad, del abonado productor con la red de distribución, lo será el punto de entrega, de conformidad con lo establecido en el artículo 15 de esta norma técnica regulatoria. La habilitación de todo servicio para un abonado productor, requiere la verificación establecida en la norma técnica regulatoria AR-NT-SUINAC “Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas” vigente.

Artículo 132. Contrato de interconexión

Es responsabilidad de la empresa distribuidora asegurar que el contrato de interconexión y operación de un generador para autoconsumo, por parte de un abonado o usuario productor, contenga las cláusulas contractuales necesarias para que: a. La infraestructura de la interconexión se construya y se mantenga conforme a la norma ARNT-SINAC “Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas” vigente. b. La operación del generador para autoconsumo no interfiera en la calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima de otros abonado o usuarios, establecida en las normas técnicas regulatorias emitidas por la ARESEP. c. El abonado o usuario productor se haga responsable de los daños que cause a la empresa eléctrica y a otros abonados o usuarios. No obstante, la empresa eléctrica deberá resarcir los daños, que la operación del generador del abonado o auto productor, cause a otros usuarios, debiendo en sede administrativa o judicial, cobrar dichos costos al abonado productor. ("ARESEP", 2014)

Artículo 133. Cargo por acceso e interconexión a la red de distribución

El abonado-productor deberá cancelar mensualmente a la empresa eléctrica el costo de acceso e interconexión a la red de distribución, según lo establezca la Autoridad Reguladora. ("ARESEP", 2014)

Artículo 136. Sistema de medición

El costo del sistema de medición para el registro de la energía depositada y retirada en los servicios con generación para autoconsumo en su modalidad medición neta sencilla no podrá ser cargado a las tarifas del servicio de suministro de energía eléctrica en su etapa de distribución y dicho sistema de medición deberá ser administrado, operado y mantenido por la empresa eléctrica. Este sistema de medición deberá cumplir con lo establecido en el capítulo IV Inscripción del Modelo de la Norma AR-NT-SUMEL “Supervisión del uso, funcionamiento y control de medidores de energía eléctrica”.

Artículo 137. Facturación de la modalidad contractual “Medición Neta Sencilla”

En el caso de existir un excedente de la producción con respecto del consumo mensual, éste debe reflejarse en la facturación del respectivo mes junto con el acumulado correspondiente, a efectos de compensar el excedente en las facturaciones subsiguientes y facturar el costo de acceso indicado en el artículo 133 de esta norma. El cierre para la liquidación de excedentes se hará en la facturación correspondiente al doceavo mes del periodo de doce meses consecutivos convenidos entre las partes. ("ARESEP", 2014)

Artículos del reglamento de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables en su modalidad neta sencilla**Artículo 34. Autorización para almacenamiento y retiro de energía.**

El productor consumidor podrá almacenar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del 49% de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual. ("MINAE", 2014)

Artículo 41. Pagos de excedentes de energía.

Cualquier exceso de energía superior al 49% de la energía total generada que haya sido depositada en la red de distribución, no será sujeta a ningún tipo de retribución económica, ni de intercambio de energía.

Matemáticas financieras

Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un método que se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Este método consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en nº de unidades monetarias.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Ecuación 4 Valor actual neto.

Fuente: Economipedia

Donde:

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

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

n es el número de periodos determinados

k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuales y, en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

$VAN > 0$: el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

$VAN = 0$: el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.

$VAN < 0$: el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

El VAN tiene varias ventajas a la hora de evaluar proyectos de inversión, principalmente que es un método fácil de calcular y, a su vez, proporciona útiles predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa. Además, presenta la ventaja de tener en cuenta los diferentes vencimientos de los flujos netos de caja.

Pero a pesar de sus ventajas también tiene algunos inconvenientes como la dificultad de especificar una tasa de descuento la hipótesis de reinversión de los flujos netos de caja (se supone implícitamente que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos inmediatamente a una tasa que coincide con el tipo de descuento, y que los flujos netos de caja negativos son financiados con unos recursos cuyo coste también es el tipo de descuento. (Morales, 2017)

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La tasa interna de retorno (TIR) da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático.

También, se puede definir basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Ecuación 5 Tasa interna de retorno.

Fuente: Economipedia

Donde:

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

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

n es el número de periodos determinados

El criterio de selección será el siguiente donde “ k ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que se obtiene es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que se le pide a la inversión.

La TIR es muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que indica la rentabilidad de dicho proyecto. Sin embargo, tiene algunos inconvenientes:

- Hipótesis de reinversión de los flujos intermedios de caja: supone que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos a “ r ” y que los flujos netos de caja negativos son financiados a “ r ”.
- La inconsistencia de la TIR: no garantiza asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión y existen soluciones (resultados) matemáticos que no tienen sentido económico:
 - Proyectos con varias r reales y positivas.
 - Proyectos con ninguna r con sentido económico. (Arias, 2017)

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

Enfoque de la investigación

En este proyecto se empleará una metodología, la cual busca establecer un ordenamiento secuencial de los pasos necesarios para alcanzar de la manera más eficaz los objetivos de dicho proyecto, como el abordaje de los conocimientos y herramientas teóricas; así como elaborar la propuesta final para la ejecución práctica del proyecto; en este caso enfocada en un sistema de generación de energía fotovoltaica.

En la investigación de campo, se toma como fuente principal de información los datos medidos recolectados directamente en sitio.

Método de la investigación

Para llevar a cabo este diagnóstico, se utilizó la información que se recolectó mediante instrumentos de medición en campo los cuales estuvieron conectados a los tableros de alimentación de cada sección en estudio durando un periodo significativo para dicha compilación de datos.

Fuentes de información

En la elaboración de este proyecto, se utilizaron fuentes, tales como: software de diseño, ingenieros expertos e información por parte de la empresa suministradora de energía.

Variables o Unidades de Análisis

Para la realización de este proyecto, se midieron variables, tales como los Watts la cual es una tasa de energía por tiempo de suma importancia para llevar a cabo el diseño y estudio de factibilidad.

Instrumentos

Para la medición de variables necesarias, se utilizaron equipos de medición de campo que en este caso se usó la función del vatímetro.

Proceso para la recolección y análisis de datos

Para la recolección y análisis de datos, se emplearon herramientas, tales como hojas de Excel y softwares especializados para proyectos fotovoltaicos.

Diagnóstico

Para comenzar con el desarrollo de este trabajo, primero que todo se debe dejar muy en claro que no es un trabajo meramente de diseño, sino más de análisis de factibilidad de propuestas en distintos escenarios, por lo tanto, habrá muchos detalles, términos y cálculos relacionados con el diseño que no se mostrarán o explicarán a fondo, esto para no perder el enfoque de lo que realmente se desea obtener con este trabajo y no hacerlo más tedioso o confuso para la persona lectora.

El interés de la compañía es principalmente realizar en el parqueo que ya poseen, estructuras para que los carros queden bajo techo, la propuesta es colocar paneles solares sobre dichos techos para aprovechar el espacio y de esta manera lograr conseguir disminuir un poco la facturación que actualmente, pagan, a dichos techos, en la actualidad, se le llaman como “techos vivos” y es una solución bastante utilizada y llamativa, tanto en aspectos visuales como económicos.

A continuación, se muestra el terreno disponible desde la vista de Google Earth para la colocación de las estructuras de parqueo donde irían colocados los paneles solares.



Ilustración 1 Área disponible

Una vez definida el área sobre la cual se va a trabajar, se procede a montar el acomodo de paneles de manera que se adecue al objetivo de la empresa. Para esto, se utilizó una herramienta llamada Helioscope la cual es un software en línea muy certero que simula desde

la altura e inclinación del acomodo de paneles hasta la cantidad de inversores y generación anual, siendo muy útil y ahorrando tiempo en la parte de diseño, por lo tanto, en la siguiente imagen se logra ver cómo una vez realizado la colocación de los paneles, sería que se vería.

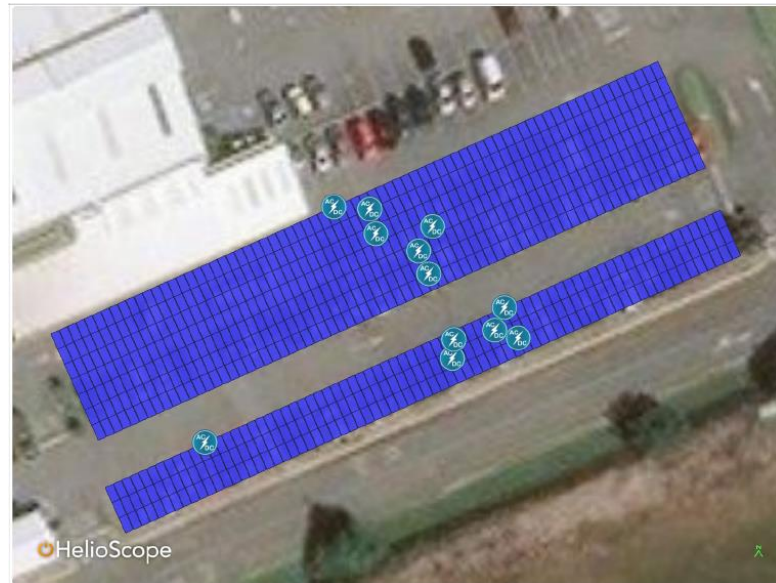


Ilustración 2 Acomodo de módulos solares

Siendo la franja más pequeña llamada como parqueo 1 y la franja más grande como parqueo 2. Para la franja parqueo 1 se necesitan o caben 222 módulos solares y para la franja parqueo 2 se necesitan o caben 511 módulos solares para un total de 733. Como recomendación, se escogieron módulos solares de alta capacidad de generación, en este caso, de 320W cada uno marca Canadian Solar, Teniendo así una capacidad total instalada de módulos equivalente a 234.6 KW. Seguidamente, esos círculos azules que se observan con las letras AC DC y un símbolo de rayo en medio, es la simbología para denotar los inversores, que en este caso son 6 para la franja parqueo 1 y 6 para la franja parqueo 2. Siendo los primeros 6 de 9000W y los segundos 6 de 24000W para cada franja respectivamente. En la siguiente imagen se puede observar la lista de componentes.

Components		
Component	Name	Count
Inverters	Sunny Tripower 24000TL-US (SMA)	6 (144.4 kW)
Inverters	!Sunny Boy SB9000TL-US-12 240V (SMA)	6 (55.8 kW)
Strings	10 AWG (Copper)	49 (1,648.9 m)
Module	Canadian Solar, CS6X-320 (July16) (320W)	733 (234.6 kW)

Ilustración 3 Lista de componetes del sistema

En la siguiente imagen, se puede ver cómo la producción anual sería aproximadamente 337.0 MWh, un “Perfomance Ratio” de 79.8% y además, la relación entre energía generada anualmente y capacidad instalada equivalente a 1436.9.

System Metrics	
Design	Techos vivos 2
Module DC Nameplate	234.6 kW
Inverter AC Nameplate	200.2 kW Load Ratio: 1.17
Annual Production	337.0 MWh
Performance Ratio	79.8%
kWh/kWp	1,436.9
Weather Dataset	TMY, Alajuela, Costa Rica, null (custom)
Simulator Version	e12e69b0e7-750723feb8-bd4c53fd66-eeb724f6e5

Ilustración 4 Parámetros del sistema

Seguidamente, se puede ver una pequeña simulación de cómo sería la generación anualmente a través de los meses.

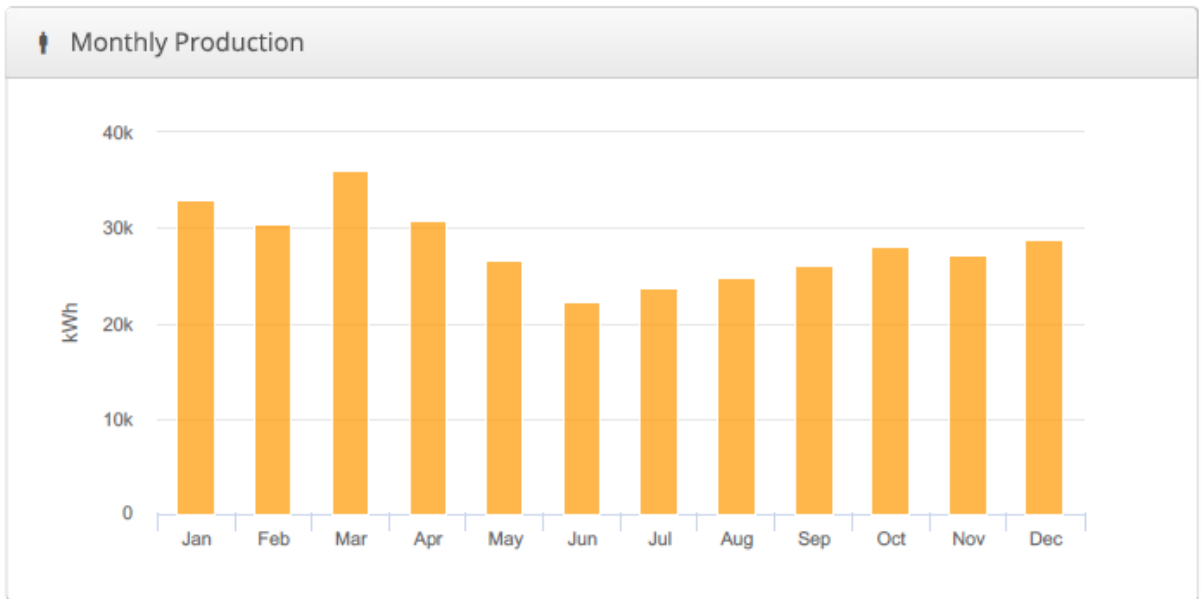


Ilustración 5 Simulación de producción anual a través de los meses

También, se obtuvo un gráfico en donde clasifica las pérdidas que se pueden presentar en el sistema debido a los distintos factores.

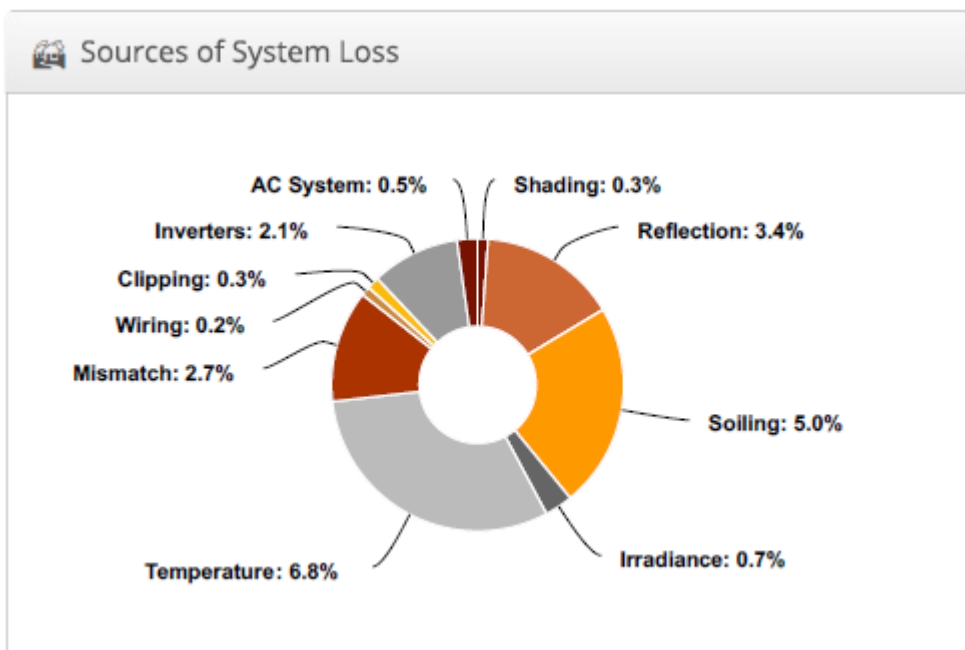


Ilustración 6 Pérdidas del sistema

Consumo total

Por medio de la factura proveída por la compañía, hay ciertos detalles importantes que se pueden obtener los cuales serán vitales para la elaboración del análisis financiero en los 2 distintos escenarios por plantear. Entre ellos se puede observar, el tipo de tarifa la cual es T-MT queriendo decir que es media tensión. Asimismo, y también muy importante. Se puede ver el histórico de consumo a través de los meses del año en donde viene tabulado por diferentes periodos del día, donde se divide en 3 periodos, Punta, Valle y Nocturno al igual con la demanda. La compañía solo cuenta con un medidor, por ende, solo existe una factura.

MEDIDOR	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	CONSUMO KWH	TARIFA
1271944	0	0	7000.0	1257193	T-MT
PERIODO FACTURADO	CICLO	DIAS FACTURADOS	FACTOR DE CARGA	SECTOR	RUOTA
30-JUN/31-JUL	12	31	0.63		4

LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	DEMANDA REGISTRADA	DEMANDA FACTURADA
0.000	0.000	7,000.00	2,700.60	2,700.60

MEDIDOR	LECTURA ACTUAL	CONSTANTE	CONSUMO KW	FACTOR DE POTENCIA	FP PERMITIDO
1271944	0.000	7,000.00	0.00	0.98	0.95

RES	MIC	ENERGIA PUNTA	ENERGIA VALLE	ENERGIA NOCHE	DEMANDA PICO	DEMANDA VALLE	DEMANDA NOCHE
8	2017	229,319	424,170	490,355	2,129.40	2,448.60	2,536.80
9	2017	235,166	447,330	531,202	2,255.40	2,405.60	2,671.20
10	2017	243,969	457,319	551,221	2,217.60	2,482.20	2,633.40
11	2017	236,448	439,493	536,864	2,196.60	2,339.40	2,578.80
12	2017	188,289	347,454	415,081	2,007.60	2,167.20	2,360.40
1	2018	243,784	453,828	538,226	2,179.80	2,394.00	2,578.80
2	2018	228,683	428,358	518,180	2,158.80	2,405.60	2,616.60
3	2018	250,091	468,696	555,998	2,259.60	2,490.60	2,780.40
4	2018	243,444	463,148	525,625	2,188.20	2,473.87	2,520.00
5	2018	252,058	487,474	572,639	2,268.00	2,486.40	2,578.80
6	2018	237,910	447,408	534,435	2,087.40	2,380.40	2,515.80
7	2018	244,238	470,109	542,846	2,074.80	2,444.40	2,700.60
PROMIO MENSUAL		236,779	446,298	527,601	2,184.70	2,420.26	2,588.25

Ilustración 7 Facturación de la compañía

Tarifa T-MT

Esta es una de las varias tarifas que, en este caso, el ICE ofrece a los diversos clientes que cumplan con el perfil. A continuación, se puede observar los valores por KWh que esta tarifa tiene normada en vigencia para el periodo del 1 de enero al 31 de marzo del 2019.

Cargo por potencia, por cada kW	
Periodo punta:	¢ 11 181.25
Periodo valle:	¢ 7 806.89
Periodo nocturno:	¢ 5 000.50
Cargo por energía, por cada kWh	
Periodo punta:	¢ 68.90
Periodo valle:	¢ 25.60
Periodo nocturno:	¢ 15.76

Ilustración 8 Valor por KWh para la tarifa T-MT ICE

Tarifa T-A

Esta es la tarifa que se cobrará por parte de la compañía suministradora de energía por cada KWh que sea descargado del total de KWh's que fue generado y almacenado inicialmente en la red para un uso posterior.

Por cada kWh retirado..... ¢ 27.86

Ilustración 9 Valor por KWh generado descargado de la red

Cargas significativas

El interés principal de la compañía con este proyecto es poder aprovechar el espacio de la estructura por construir que resguardará los vehículos del sol para colocar los módulos solares encima con la finalidad de disminuir la facturación que actualmente se paga. Para esto, se seleccionó una carga significativa para contrarrestar o disminuir en términos de facturación de energía. Por lo que se escogió el consumo de las oficinas administrativas, asimismo, el

consumo que tienen los equipos de aire acondicionado o chillers que sirven a las mismas oficinas administrativas. Para eso fue necesario que uno de los colaboradores de la empresa fuera a medir el consumo de esa zona al tablero del cual se encuentran interconectados por durante aproximadamente 15 días continuos dejando el equipo de medición en la lectura constante. Seguidamente, una vez con esos valores obtenidos del equipo de medición los cuales fueron obtenidos cada en intervalos de 5 minutos, se asumió un consumo semejante durante los restantes 15 días para completar el mes, que de la siguiente manera se asumió un comportamiento parecido durante los meses hasta completar el año. Finalmente, se pasaron los datos de intervalos de 5 minutos a intervalos de 1 hora, esto con la finalidad de poder clasificar el consumo que se tiene en los 3 diferentes periodos que anteriormente se mencionaron para la tarifa T-MT o media tensión de esta manera poder trabajar en los mismos intervalos ya que el costo por KWh también varía dependiendo del periodo. En el siguiente cuadro, se puede observar el consumo total dividido en sus respectivos periodos sin sistema implementado y con sistema implementado en KWh, respectivamente.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Valle	12978	11285	12414	11850	12978	11850	11285	13028	11385	12978	12414	11850
Punta	5857	5093	5602	5347	5857	5347	5093	5854	5088	5857	5602	5347

Cuadro 1 Consumos de las cargas por mes en KWh sin sistema fotovoltaico implementado

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Valle	1566	1461	808	1306	2264	4327	3107	3196	2370	3247	2929	2886
Punta	285	349	186	227	788	1706	1110	1079	882	927	898	501

Cuadro 2 Consumos de las cargas por mes en KWH con sistema fotovoltaico implementado

Ahora, para sacar la diferencia total y poder ver cuál sería la cantidad final en términos de energía por facturar se requiere tomar los valores totales de la facturación, restarle el consumo de la carga significativa y sumarle la generación de los paneles. Para obtener de esta forma, el siguiente cuadro.

	Valle	Punta	Nocturno
Enero	442416	238212	538226
Febrero	418534	223939	518180
Marzo	457091	244674	555996
Abril	452605	238323	525625
Mayo	476760	246989	572639
Junio	439885	234269	534435
Julio	461931	240256	542846
Agosto	414338	224544	490355
Septiembre	438315	230960	531202
Octubre	447588	239039	551221
Noviembre	430008	231744	535864
Diciembre	338491	183442	514081

Cuadro 3 Consumos totales de la compañía en KWh con la implementación del sistema fotovoltaico

Propuesta 1 Sistema fotovoltaico interconectado a la red

Para la primera propuesta se plantea realizar el acomodo de módulos solares visto en la ilustración 2 de manera tal, que el sistema se encuentre conectado a la red directamente pasando por los inversores de corriente directa a corriente alterna y posterior al sistema eléctrico de la compañía.

Para poder realizar esta propuesta, lo primero que se tomó en cuenta fue el valor de la instalación de módulos solares, muy aproximado y recomendado por el ingeniero Pablo Sanabria Campos quien fue vendedor de dichos sistemas, en términos de costo por cada Watt instalado en dólares, sería de \$1.05 (Ver anexo A). Dando así un valor aproximado total del sistema de \$246 330. Seguidamente, para llevar a cabo el retorno de inversión se utilizó una

herramienta de Excel proveída y de uso autorizado a mi persona, pero restringida al público en general, con el fin de ahorrar tiempo en la realización de la estimación del tiempo de recuperación, De la siguiente manera donde se observa la introducción de los datos por analizar.

Month	Usage Information (kWh)				Demand Information (kW)			
	On-Peak	Mid-Peak	Off-Peak	Usage	On-Peak	Mid-Peak	Off-Peak	Max
Jan	442,416	238,212	538,226	1,218,854	2,293	2,075	2,579	2,579
Feb	418,534	223,939	518,180	1,160,652	2,306	2,055	2,617	2,617
Mar	457,091	244,674	555,998	1,257,763	2,390	2,156	2,278	2,390
Apr	452,605	238,323	525,625	1,216,553	2,373	2,085	2,360	2,373
May	476,760	246,989	572,639	1,296,388	2,385	2,164	2,579	2,579
Jun	439,885	234,269	534,435	1,208,589	2,259	1,984	2,516	2,516
Jul	461,931	240,256	542,846	1,245,033	2,343	1,971	2,780	2,780
Aug	414,338	224,544	490,355	1,129,237	2,348	2,026	2,537	2,537
Sep	438,315	230,960	531,202	1,200,478	2,306	2,152	2,671	2,671
Oct	447,588	239,039	551,221	1,237,848	2,381	2,114	2,633	2,633
Nov	430,008	231,744	536,864	1,198,616	2,066	1,904	2,360	2,360
Dec	338,491	183,442	415,081	937,014	2,066	1,904	2,360	2,360
	5,217,961	2,776,393	6,312,672	14,307,026	27,515	24,591	30,271	30,395

Ilustración 10 Datos introducidos en herramienta de Excel

Una vez con esos datos introducidos, por medio de la herramienta se demuestra que se genera un ahorro aproximado de \$42 442 anuales como se muestra a continuación.

Solar Savings on Current Rate (Post FIMs)	\$	42,442	\$/Year
---	----	--------	---------

Ilustración 11 Ahorro anual aproximado con sistema FV implementado

Para finalmente observar que el proyecto termina de pagarse hasta el año 25 como se muestra a continuación.

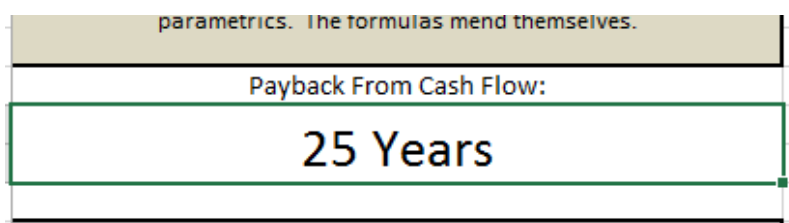


Ilustración 12 Año de retorno de inversión

Como se puede apreciar el año de retorno de inversión del proyecto es muy elevado, donde generalmente los préstamos bancarios no exceden los 10 años para obtener dicho retorno, además que comparando la cantidad de inversión inicial que debería pagarse versus el tiempo que hay que esperar para obtener resultados positivos son críticamente altos como para que cualquier compañía o ente se arriesgue a implementar un proyecto así debido a que al ser un tiempo de espera muy grande, muchos eventos podrían suceder haciendo que más bien al final del periodo pueda haber una pérdida muy considerable.

Propuesta 2 Sistema fotovoltaico conectado a banco de baterías

Para la segunda propuesta se plantea realizar el acomodo de módulos solares visto en la ilustración 2 de manera tal, que el sistema se encuentre conectado a la red de la compañía por medio de bancos de baterías, para que, de esta forma, no sea necesario tener que almacenar el excedente de energía generada en la red en caso de que hubiese y así evitar tener que pagar la tarifa de acceso por cada KWh descargado luego cuando dicha energía sea necesaria. Que también a su vez, como es una de las finalidades de un arreglo así es recortar los picos de consumo de la compañía permitiendo tener una facturación un poco más constante.

Para poder realizar esta propuesta, lo primero que se tomó en cuenta fue el valor de la instalación de módulos solares, muy aproximado y recomendado por Pablo Sanabria Campos quien fue vendedor de dichos sistemas, en términos de costo por cada Watt instalado en dólares, sería de \$4 (Ver anexo A). Dando así un valor aproximado total del sistema de \$938 400.

Como se puede ver, el valor del sistema aumenta debido a que el equipo de almacenamiento, o sea, el rack de baterías tiene un costo sumamente mayor que solo inversores para un sistema conectado en línea. Cabe destacar que para esta propuesta será necesario un rack de 46KWh el cual incluye un inversor de 23KWh.

Los datos para realizar el análisis correspondiente son los mismos que fueron insertados para la propuesta 1 como se puede ver en la ilustración 10. Donde en vez de obtener una ganancia, más bien lo que deja es una pérdida por casi 1 millón de colones como se muestra en la ilustración 13.

Average Savings on Current Rate (Post-FIMs and Solar) \$ (988,880) \$/Year

Ilustración 13 Ahorro anual aproximado con sistema FV implementado

Esto es debido a que la ganancia es tan poca y el equipo es tan caro que prácticamente la ganancia se invierte para pagar el precio del sistema que, en este caso, es mucho mayor, sin embargo, aun así, no es suficiente.

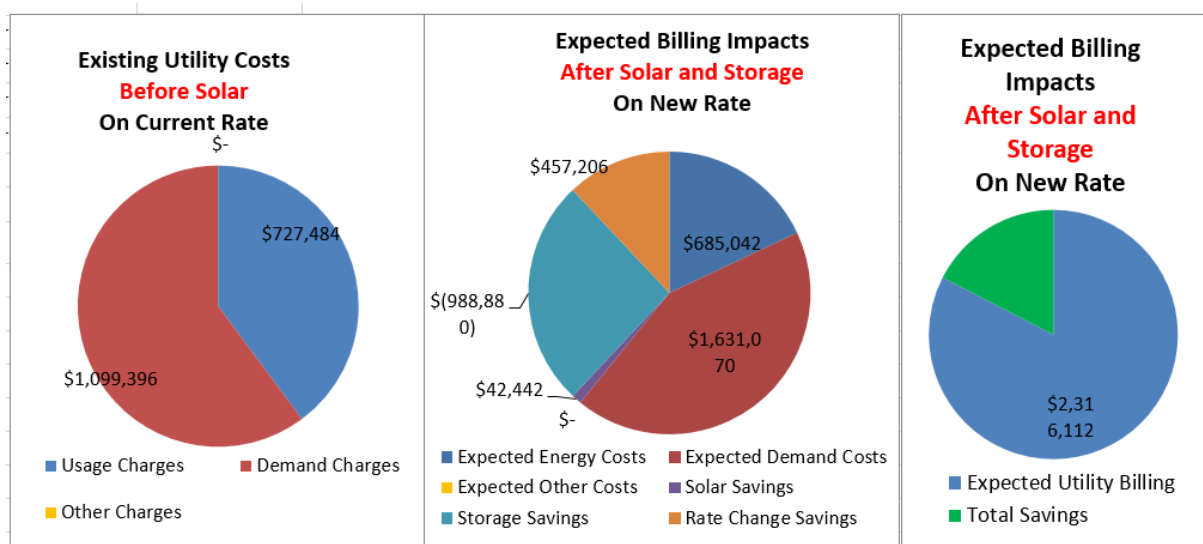


Ilustración 14 Resumen de las propuestas 1 y 2

Como se puede apreciar en la ilustración 14, es un resumen de la propuesta 1 y 2. En el primer gráfico de pastel, se puede observar los cargos por demanda en rojo y los cargos por uso de energía en azul antes de implementar el sistema fotovoltaico lo cual vendría siendo aproximadamente lo que se ve en la factura como se muestra en la ilustración 7. En el segundo gráfico de pastel se puede observar algunos impactos esperados en la facturación después de aplicar ya sea el sistema fotovoltaico conectado a la red o a un banco de baterías, logrando ver

en morado los \$42 442 esperados de ahorro anual con la propuesta 1 y en azul claro la pérdida por casi 1 millón de colones con la propuesta 2, sin embargo, como estos retornos de inversión se salen de los parámetros normales y que la herramienta de Excel maneja, por dichas razones se puede ver que los costos de energía y demanda varían dando valores no coherentes con los datos que anteriormente se podían observar. En el tercer y último gráfico de pastel, se puede ver el conglomerado de los costos por energía y demanda que como anteriormente se mencionó, también están erróneos ya que se sale de los parámetros de la herramienta, por ende, los resultados que dan no son confiables, así como los sistemas no son factibles para realizar.

➤ Savings

- Refers to how much money you're saving for your monthly bill.

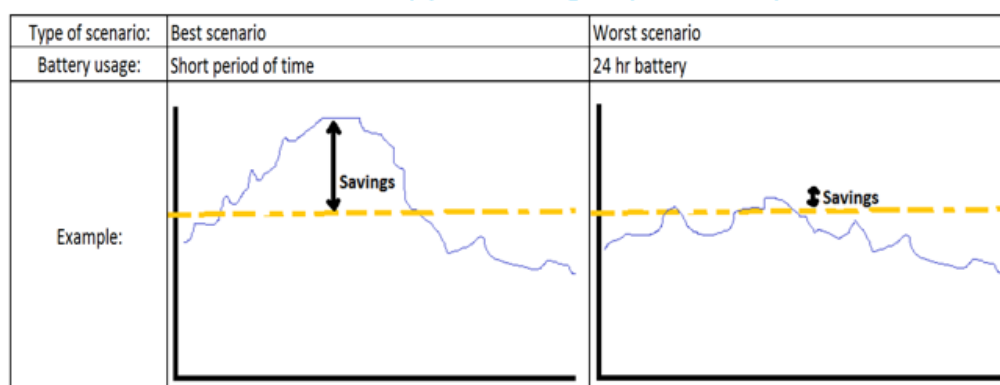


Ilustración 15 Mejor y peor escenario para sistema conectado a baterías

Como se muestra en la ilustración 15, del lado izquierdo de la imagen, sería el mejor escenario donde se tienen picos de consumo altos que el sistema de baterías vendría a recortar, haciendo así un gran ahorro, véase como todo lo que esté por debajo de la curva, sin embargo, en nuestro caso actual se tiene el peor escenario el cual sería el del lado derecho de la imagen, donde no se tienen picos de consumo de gran magnitud ya que las cargas significativas trabajan en periodos valle y pico, sin embargo, el mayor consumo se da durante el periodo nocturno debido al resto de equipos que la empresa tiene, por ende, nuestro ahorro no sería tan

significativo haciendo que la relación ahorro versus costo de implementación sea sumamente pésimo haciendo el proyecto no factible para llevar a cabo.

Propuesta 3 Sistema fotovoltaico interconectado a la red a menor capacidad de generación

Como parte extra del proyecto, con esta tercera propuesta se pretende tener una visualización mayor de cómo podría afectar si redujéramos a la mitad la cantidad de paneles instalados de la propuesta 1. Intentando ver si hay una recuperación de inversión más temprana.

Para llevar esta propuesta a cabo, se va a utilizar una herramienta en Excel la cual fue creada por el Ingeniero Esteban Alfaro González con el propósito de promover el uso de implementaciones en tesis pasadas.

Datos importantes, en este caso, es la cantidad de paneles que será de 350 módulos, más o menos la mitad de los módulos en la propuesta 1. Lo segundo que se tomó en cuenta fue el valor de la instalación de módulos solares, un valor muy aproximado y recomendado por el ingeniero Pablo Sanabria Campos quien fue vendedor de dichos sistemas, en términos de costo por cada Watt instalado en dólares, sería de \$1.05 (Ver Anexo A). Dando así un valor aproximado total del sistema de \$117 600. Seguidamente, para llevar a cabo el retorno de inversión se utilizó la herramienta de Excel anteriormente mencionada obteniendo los siguientes resultados.

Datos financieros del proyecto	Valor
Valor Actual Neto	¢ 64.965.323
Tasa Interna de Retorno	20,31%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	9,13

Módulos , inversores y configuración de las cadenas	Valor
Cantidad de módulos	350,00
Cantidad de inversores	4,00

Ilustración 16 Resultados a media capacidad de instalación de módulos

Como se puede observar en la ilustración 16, para una cantidad total de 350 módulos solares y 4 inversores, la inversión se vería recuperada en aproximadamente 9 años. Así mismo, se ve un VAN positivo de casi unos 65 millones de colones para dicho año de recuperación, siendo así una buena propuesta para una futura implementación y un TIR de 20.31% donde es aproximadamente 8.3% mayor que la tasa de descuento como se muestra en la ilustración 17.

Para poder haber llegado a visualizar esos resultados anteriores, se tiene el siguiente cuadro con las variables las cuales fueron necesarias introducir en la herramienta para que ésta hiciera los cálculos.

Variables

Especificaciones del inversor	Valor
Potencia nominal DC (W)	24.000,00
Máximo voltaje DC (V)	800,00
Corriente máxima DC (A)	33,00
Número de MPPT	2,00

Variables económicas	Valor
Costo por potencia instalada (dolares/Watt)	\$ 1,05
Tipo de cambio respecto al dólar USD (colones)	₡ 615,00
Tarifa por energía - Periodo punta (colones/kWh)	₡ 68,90
Tarifa por energía - Periodo valle (colones/kWh)	₡ 25,60
Tarifa por energía - Periodo nocturno (colones/kWh)	₡ 15,76
Tarifa por potencia - Periodo punta (colones/kW)	₡ 11.181,25
Tarifa por potencia - Periodo valle (colones/kW)	₡ 7.806,89
Tarifa por potencia - Periodo nocturno (colones/kW)	₡ 5.000,50
Tarifa de acceso (colones/kWh)	₡ 27,86
Tarifa alumbrado público (colones/kWh)	₡ 4,05
Máximo de aplicación alumbrado público (kWh/mes)	50000,00
Energía mínima a facturar (kWh/mes)	40,00
Importe de bomberos (%)	1,75%
Impuesto de ventas (%)	13,00%
Inflación anual (%)	5,00%
Incremento anual de la facturación eléctrica (%)	8,00%

Variables financieras	Valor
Tasa de descuento (%)	12,00%

Ilustración 17 Variables respectivas para la propuesta 3

Para comenzar se tienen las variables importantes del inversor, tales y como se muestra en el primer grupo, se estarían utilizando inversores con potencia de 24 KWh los cuales soportan un voltaje máximo de 800 Voltios y corrientes máximas de hasta 33 Amperios en corriente directa.

Seguidamente en el segundo grupo de variables, se tiene las variables económicas donde se puede observar el costo en dólares por watt instalado tal y como lo había recomendado el ingeniero ex vendedor de dichos sistemas Pablo Sanabria (Ver anexo A) de \$1.05, luego se tiene el valor del dólar que, si bien es cierto, oscila entre 612 a 619 colones, sin embargo, 615 colones es el valor en el que normalmente se ha mantenido mayoritariamente.

Luego se tienen los costos en términos de energía con la compañía ICE, los cuales fueron obtenidos del sitio oficial de ellos. Entre ellos se pueden destacar los valores de los periodos Punta, Valle y Nocturno, así como la tarifa de acceso y los costos por demanda.

Como grupo final de variables se puede ver las financieras, en este caso, más específicamente, la tasa de descuento que es de un 12%, esta tasa se escogió basado en la información provista por uno de los agentes del banco BAC, los cuales manejan distintos tipos de rubros, sin embargo, esa tasa de; 12% en especial es la más utilizada (Ver anexo E).

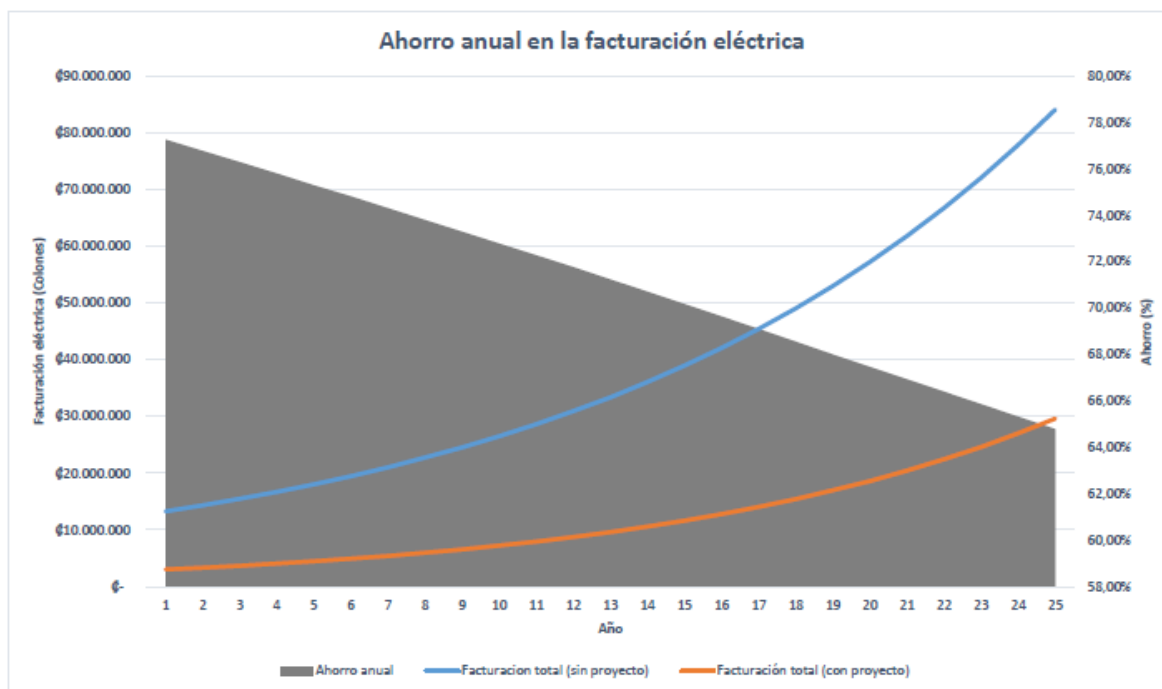


Ilustración 18 Ahorro anual en la facturación eléctrica

Como se observa en la ilustración 18, se puede observar un gráfico con el ahorro anual que la empresa estaría percibiendo con la implementación del sistema fotovoltaico, el cual fue generado por la misma herramienta de Excel.

Se puede observar cómo la línea azul, representa la facturación total de la empresa sin proyecto implementado, la línea anaranjada representa la nueva facturación total con sistema fotovoltaico implementado y el área gris representa el ahorro que se generaría. Como se muestra inicialmente sin proyecto, y si se observa ya con proyecto implementado, dicha raya tomando como referencia la escala del ahorro (%), llega a decaer hasta el punto de ahorro de aproximadamente 65% al final de los 25 años de vida útil del equipo, esto por el deterioro que ira presentando dicho equipo, que, si se hace referencia a la escala izquierda de facturación eléctrica, seria aproximadamente 54 millones y medio de colones a lo largo del tiempo como se puede observar en los siguientes resultados.

Análisis anual

Año	1	2	3	4	5	6
Energía consumida (kWh/año)	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873
Energía generada (kWh/año)	165.419	164.265	163.112	161.958	160.804	159.650
Facturación total (sin proyecto)	₺ 13.254.380	₺ 14.314.730	₺ 15.459.908	₺ 16.696.701	₺ 18.032.437	₺ 19.475.032
Facturación total (con proyecto)	₺ 3.014.936	₺ 3.325.002	₺ 3.666.146	₺ 4.041.513	₺ 4.454.740	₺ 4.906.145
Ahorro en la facturación eléctrica	77,25%	76,77%	76,29%	75,79%	75,30%	74,81%
Sustitución del Convertidor DC/AC	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Mantenimiento	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Ahorro	₺ 10.239.444	₺ 10.989.728	₺ 11.793.763	₺ 12.655.188	₺ 13.577.697	₺ 14.568.887
Retorno de la inversión	₺ (63.181.639)	₺ (54.420.696)	₺ (46.026.128)	₺ (37.983.528)	₺ (30.279.178)	₺ (22.898.126)

Año	7	8	9	10	11	12
Energía consumida (kWh/año)	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873
Energía generada (kWh/año)	158.496	157.342	156.189	155.035	153.881	152.727
Facturación total (sin proyecto)	₺ 21.033.035	₺ 22.715.677	₺ 24.532.931	₺ 26.495.566	₺ 28.615.211	₺ 30.904.428
Facturación total (con proyecto)	₺ 5.403.327	₺ 5.951.087	₺ 6.548.963	₺ 7.208.722	₺ 7.931.697	₺ 8.723.306
Ahorro en la facturación eléctrica	74,31%	73,80%	73,31%	72,79%	72,28%	71,77%
Sustitución del Convertidor DC/AC	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Mantenimiento	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Ahorro	₺ 15.629.707	₺ 16.764.591	₺ 17.983.969	₺ 19.286.844	₺ 20.683.515	₺ 22.181.122
Retorno de la inversión	₺ (15.828.041)	₺ (9.057.104)	₺ (2.571.904)	₺ 3.637.944	₺ 9.583.960	₺ 15.277.301

Ilustración 19 Análisis por año con sistema fotovoltaico implementado (hasta año 12)

Análisis anual

Año	13	14	15	16	17	18
Energía consumida (kWh/año)	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873
Energía generada (kWh/año)	151.573	150.419	149.266	148.112	146.958	145.804
Facturación total (sin proyecto)	₺ 33.376.782	₺ 36.046.925	₺ 38.930.679	₺ 42.045.133	₺ 45.408.744	₺ 49.041.444
Facturación total (con proyecto)	₺ 9.597.183	₺ 10.555.486	₺ 11.607.069	₺ 12.759.914	₺ 14.027.522	₺ 15.416.255
Ahorro en la facturación eléctrica	71,25%	70,72%	70,19%	69,65%	69,11%	68,56%
Sustitución del Convertidor DC/AC	₺ -	₺ -	₺ -	₺ 33.242.062	₺ -	₺ -
Mantenimiento	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Ahorro	₺ 23.779.600	₺ 25.491.439	₺ 27.323.610	₺ (3.956.842)	₺ 31.381.222	₺ 33.625.188
Retorno de la inversión	₺ 20.726.972	₺ 25.943.025	₺ 30.934.947	₺ 30.289.500	₺ 34.859.997	₺ 39.232.603

Año	19	20	21	22	23	24
Energía consumida (kWh/año)	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873	213.873
Energía generada (kWh/año)	144.650	143.496	142.343	141.189	140.035	138.881
Facturación total (sin proyecto)	₺ 52.964.759	₺ 57.201.940	₺ 61.778.095	₺ 66.720.342	₺ 72.057.970	₺ 77.822.607
Facturación total (con proyecto)	₺ 16.936.121	₺ 18.597.729	₺ 20.417.183	₺ 22.406.612	₺ 24.585.708	₺ 26.971.200
Ahorro en la facturación eléctrica	68,02%	67,49%	66,95%	66,42%	65,88%	65,34%
Sustitución del Convertidor DC/AC	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Mantenimiento	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -	₺ -
Ahorro	₺ 36.028.638	₺ 38.604.210	₺ 41.360.912	₺ 44.313.731	₺ 47.472.262	₺ 50.851.407
Retorno de la inversión	₺ 43.415.772	₺ 47.417.746	₺ 51.246.096	₺ 54.908.294	₺ 58.411.175	₺ 61.761.372

Ilustración 20 Análisis por año con sistema fotovoltaico implementado (de año 13 a 24)

Análisis anual

Año	25
Energía consumida (kWh/año)	213.873
Energía generada (kWh/año)	137.727
Facturación total (sin proyecto)	₺ 84.048.416
Facturación total (con proyecto)	₺ 29.581.045
Ahorro en la facturación eléctrica	64,80%
Sustitución del Convertidor DC/AC	₺ -
Mantenimiento	₺ -
Ahorro	₺ 54.467.371
Retorno de la inversión	₺ 64.965.323

Ilustración 21 Análisis por año con sistema fotovoltaico implementado (año 25)

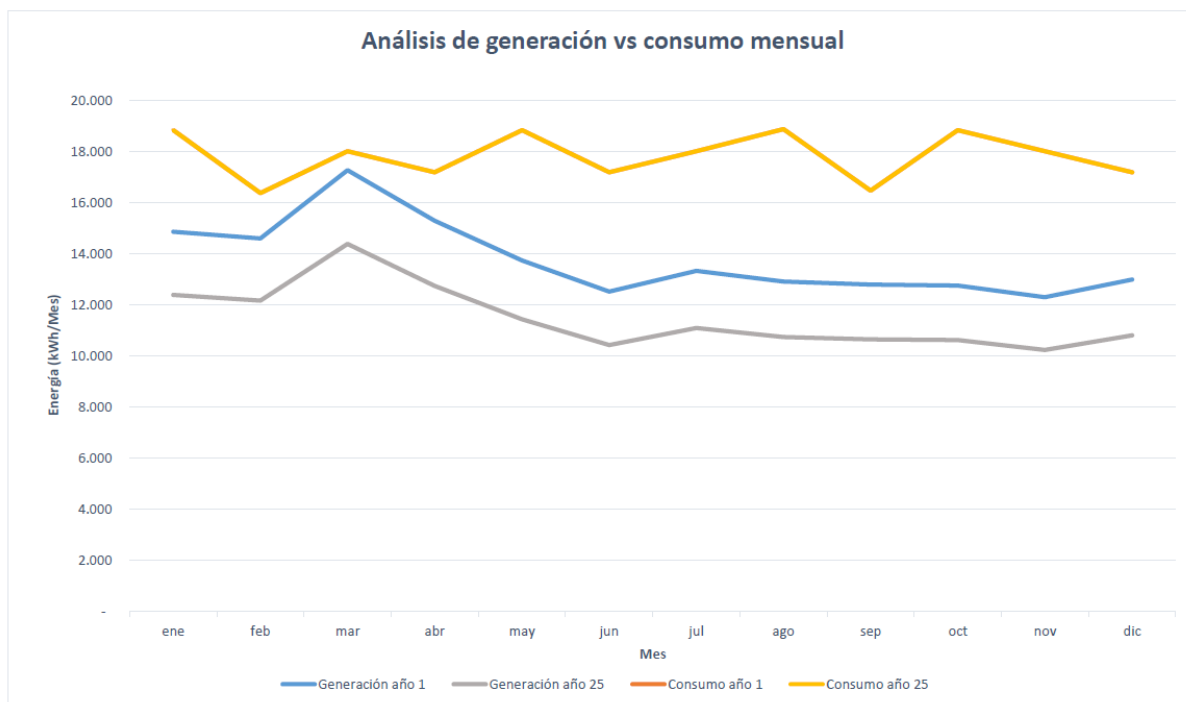


Ilustración 22 Análisis de generación versus consumo mensual

La reducción en el ahorro de la facturación eléctrica visible en las ilustraciones anteriores se puede corroborar en la ilustración 22, donde la línea anaranjada al igual que la línea amarilla es el consumo de la empresa desde el año 1 al año 25 suponiendo que el consumo se mantendrá igual.

La línea azul representa la generación del sistema en el año 1 que es el año donde trabaja a máxima eficiencia, siendo así marzo el mes de mayor generación y la línea gris representa la generación al año 25 donde se puede observar el efecto de deterioro del equipo quedando visible la reducción en la generación.

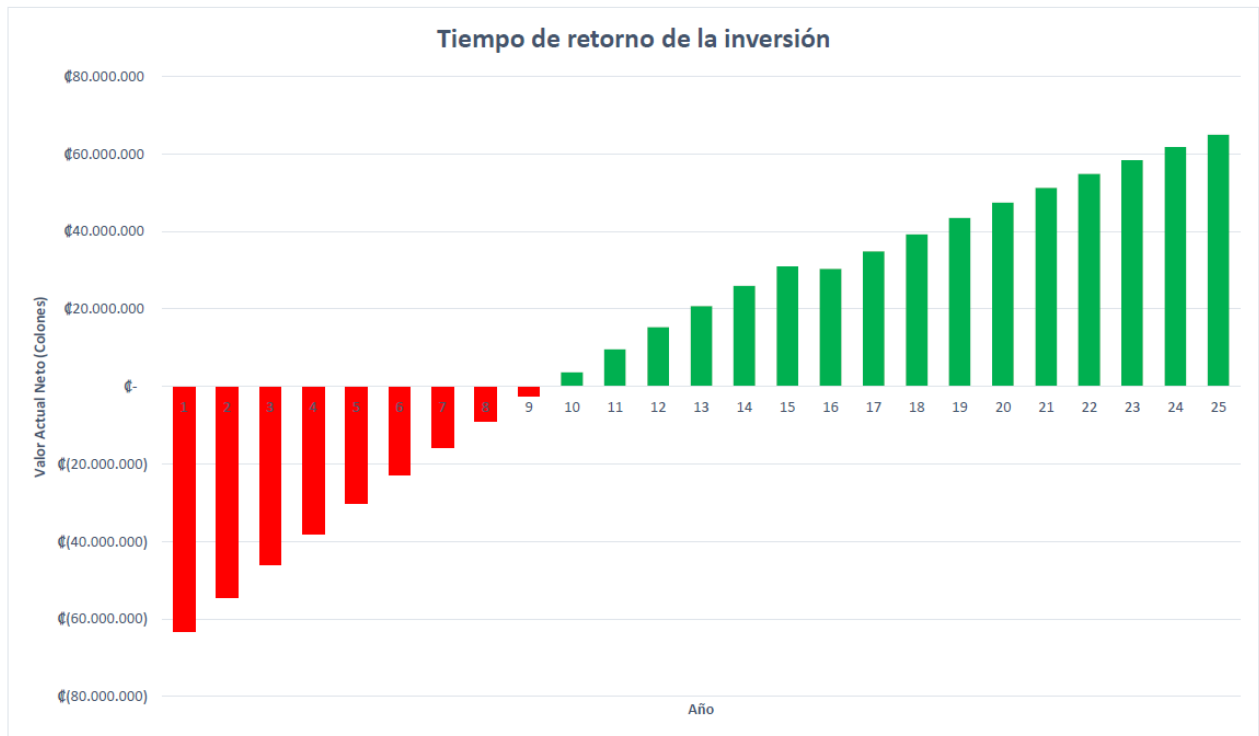


Ilustración 23 Tiempo de retorno de la inversión

Con respecto del VAN que se muestra en la ilustración 16, se puede observar y demostrar gráficamente en la ilustración 23 la evolución del retorno de inversión a través de los años quedando demostrado que a partir del año 9 es donde la inversión del sistema queda por completo recuperada, generando ganancias únicamente, a partir del año 10 hasta el año 25.

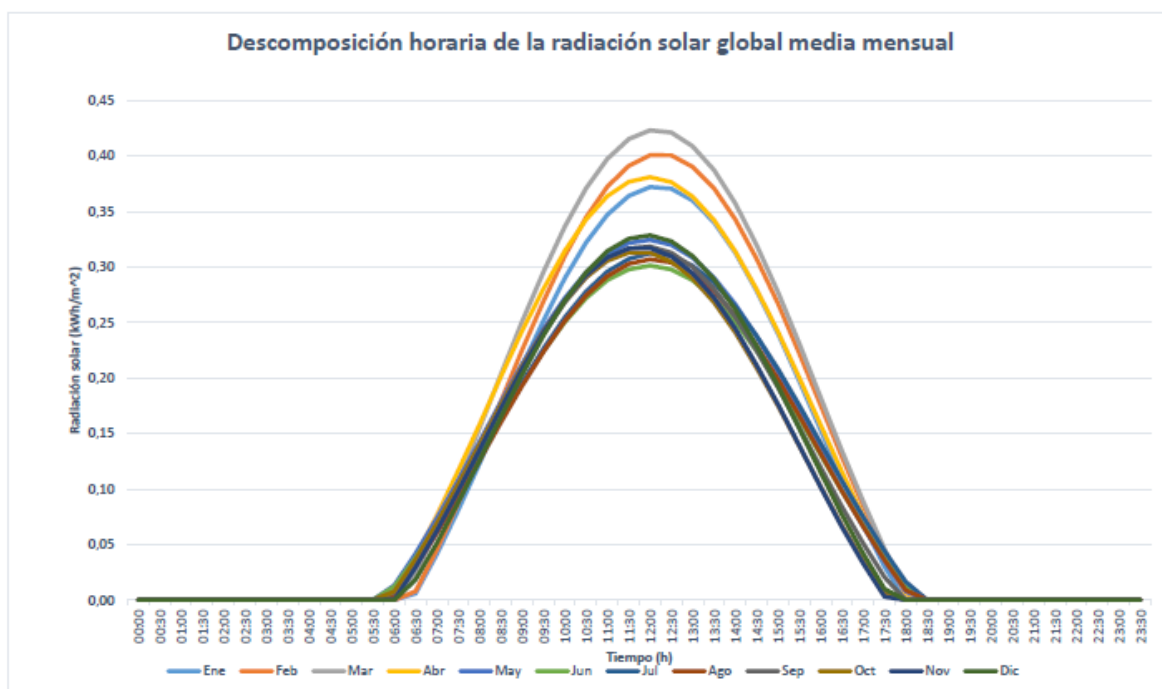


Ilustración 24 Media de radiación solar global por mes

Una de las funcionalidades que se pueden encontrar con esta herramienta es el graficado de las radiaciones por mes para un mejor análisis para el cálculo de paneles debido a que podría llevarse a cabo por medio del punto óptimo como es el caso de la propuesta 3, o bien, para el mes de menor irradiación solar donde se puede observar que junio el cual es la línea verde claro sería el mes que presenta menor radiación con aproximadamente 0.3 KWh/m² ocurriendo esto aproximadamente al ser el medio día.

Comparación de métodos de cálculo

Método de cálculo	Punto óptimo	Mes de menor irradiación	Diferencia	%
Número de módulos	350	480	-130	-37,14%
Energía total generada (kWh)	3.789.332	5.196.798	(1.407.466)	-37,14%
Valor Actual Neto	₡ 64.965.323	₡ 74.695.418	₡ (9.730.095)	-14,98%
Tasa Interna de Retorno	20,31%	18,92%	1,40%	6,88%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	9,13	10,20	-1,06	-11,63%

Ilustración 25 Métodos de cálculo

Uno de los pluses que esta herramienta en Excel tiene como anteriormente se mencionaba, es un segundo método de cálculo el cual es el del mes de menos irradiación como

se muestra en la ilustración 24 siendo junio el de menor radiación. Dando un número de módulos solares aproximado de 480, habiendo una diferencia de 130 módulos en comparación con la del punto más óptimo.

Se puede notar, así mismo, que obviamente al ser una cantidad mayor de módulos, habrá una energía total generada mayor, también como se puede ver una línea más abajo en el VAN, habiendo una diferencia de aproximadamente casi 9.7 millones, una diferencia visible en la tasa interna de retorno un 1.39% con respecto de la propuesta del punto óptimo que, a su vez, se puede visualizar una duración de aproximadamente 1 años más en caso que se hiciese mediante este método de cálculo del mes de menor radiación.

Mes de inicio del proyecto

Mes de inicio del proyecto	ene	feb	mar	abr	may
Número óptimo de módulos	350	350	350	350	350
Valor Actual Neto	₡ 64.965.323	₡ 64.954.380	₡ 64.930.933	₡ 64.871.336	₡ 64.854.677
Tasa Interna de Retorno	20,31%	20,31%	20,31%	20,30%	20,30%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	9,13	9,13	9,13	9,14	9,14

Mes de inicio del proyecto	jun	jul	ago	sep	oct
Número óptimo de módulos	350	350	350	350	350
Valor Actual Neto	₡ 64.878.978	₡ 64.910.384	₡ 64.914.825	₡ 64.915.607	₡ 64.898.386
Tasa Interna de Retorno	20,30%	20,31%	20,31%	20,31%	20,31%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	9,14	9,13	9,13	9,13	9,13

Mes de inicio del proyecto	nov	dic
Número óptimo de módulos	350	350
Valor Actual Neto	₡ 64.917.494	₡ 64.943.564
Tasa Interna de Retorno	20,31%	20,31%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	9,13	9,13

Ilustración 26 Mejor mes de inicio del proyecto

Otro beneficio que se puede sacar provecho de esta herramienta es el análisis del mejor mes para la iniciación del proyecto fotovoltaico, que, para las condiciones específicas, en este caso, el mejor mes resultó ser enero, no se toma solo en consideración el mes de mayor irradiación para empezar obteniendo la mayor ganancia, sino que también, en este caso entra en juego también la temperatura promedio del mes, ya que como bien se sabe, a mayor temperatura la eficiencia del módulo disminuye, por lo, tanto una vez dicho esto, la herramienta toma esos valores y compara cuál mes tiene las mejores condiciones para empezar la

implementación del proyecto y que dé una ganancia mayor analizando la combinación de ambos factores anteriormente mencionados.

A pesar de que para todos los meses se tiene un TIR que varía de 20.30% a 20.31% y un periodo de recuperación de 9.13 a 9.14 años, en este caso lo que viene a predominar en un mes de inicio es el VAN del mes de enero que es de 64 965 323 de colones, siendo así mayo el mes que menor VAN se podría obtener con un valor de 64 854 677 de colones, dichas variaciones pueden darse por las condiciones climáticas distintas que cada mes pueda presentar.

CAPÍTULO IV

Análisis de Resultados

Debido a que le empresa desea construir una estructura para proteger los carros de los rayos del sol, se planea aprovechar para implementar un sistema fotovoltaico que pueda generar como mínimo el consumo de las oficinas y de los Chillers que sirven a esas oficinas. Las oficinas trabajan a 120/240 monofásico y el Chiller funciona a 480 Trifásico, por ende, se realizarán 2 acomodos, 1 que pueda ir conectado directo al centro de carga del Chiller y otro, que vaya al centro de carga de las oficinas.

Como se puede observar en la Ilustración 1 al inicio del diagnóstico, se puede observar que el área de parqueo que la compañía, actualmente, posee es bastante amplia como para llevar a cabo el aprovechamiento de la implementación de los módulos solares sobre las estructuras para protección solar que planean construir.

De igual forma como se logra ver en la ilustración 2, es el resultado de la simulación a la hora de acomodar los paneles dieron como respuesta una cantidad total de 733 módulos solares que aprovechando la variedad de potencias que actualmente, existen, se escogió un módulo, en este caso, de la marca Canadian Solar de una potencia de 320W cada uno junto con 12 inversores, los cuales 6 serán para un voltaje 110/240 monofásico y los otros 6 serán para un voltaje 480 trifásico como se muestra la lista de materiales en la ilustración 3. Esto por cómo se mencionó al inicio se tomó la decisión de hacer 2 arreglos de paneles solares para que vayan a centros de cargas distintos para un total de 234.6 KWh, que, con todo esto dicho, estarían produciendo anualmente una cantidad de 337.0MWh como se puede observar en la ilustración 4. Tomando en cuenta el PR o performance ratio equivalente a 78.9% lo cual indica que del 100% que podrían genera lo cual nunca será posible debido a que sería un sistema ideal y en la realidad no existen, solo el 78.9% real de la capacidad de generación será efectiva como se muestra en el gráfico de la ilustración 6.

En la ilustración 5, se puede visualizar de mejor manera los 337MWh que tentativamente podrán ser generados si se instalase dicho sistema por medio del gráfico de

barras donde muestra de mejor manera mes a mes el estimado de energía a ser producida. Es una muy buena aproximación ya que los factores climatológicos podrían cambiar por diversos eventos, sin embargo, es una aproximación muy aceptable.

A continuación, como se logra ver en la ilustración 7, la facturación que la compañía presenta, es muy importante ya que de ahí se tienen datos, tales como la tarifa a la cual es sometida, el histórico de 1 año que presenta y los consumos en este caso separados por los periodos que esta tarifa tiene. Como se puede ver, está regido por la tarifa T-MT y que, a su vez, en la ilustración 8, presenta los costos por KWh establecidos por el ICE en este caso, donde se tiene que para el periodo Valle cada KWh será cobrado a 25.60 colones, el periodo Punta será cobrado a 68.90 colones y, por último, el periodo nocturno a 15.76 colones. Continuando en la ilustración 9 se tiene la tarifa de acceso, que es aplicada toda vez que un KWh de los cuales se generan de más en el periodo y el cual fue almacenado en la red, a su posterior descarga, será cobrado a 27.86 colones sin importar en qué periodo sea que se vaya a descargar como se observa en la ilustración 9, que desde ya se ve que más bien es menos beneficioso si se descarga energía la cual fue almacenada de la red en el periodo Valle ya que saldría más cara que pedirla a la compañía proveedora de electricidad.

Continuando con el diagnóstico se llega a la parte de las cargas significativas, donde como anteriormente se mencionó serán las oficinas administrativas y los Chillers que sirven a estas oficinas, cuyos consumos tuvieron que ser medidos para saber cuánto es lo que consumen y, por ende, saber si con los módulos solares será posible generar igual o más que lo que estas cargas significativas consumen para eso se colocaron equipos de medición en sus respectivos centros de carga para poder cuantificar sus consumos y, por ende, poder saber cuánto se consume en periodo Punta y periodo Valle para poder utilizar la herramienta de Excel y hacer un correcto cálculo financiero, el equipo recolectó datos en un periodo de cada 5 minutos durante 15 días, por ende, una vez obtenidos estos datos, tuvieron que ser pasados a periodos

de cada hora y asumir que los restantes 15 días tuvieron un consumo similar, de esta forma para poder clasificarlos posteriormente.

Propuesta 1

Analizando la propuesta 1 la cual se trata de los arreglos de módulos solares vistos en la ilustración 2 los cuales serán conectados a inversores y de ahí pasará la conexión a los centros de carga de las cargas, se logra apreciar en el cuadro 1 donde se tiene los consumos de ambas cargas ya sumadas por mes sin sistema fotovoltaico implementado todavía. Seguidamente, en el cuadro 2 se puede observar los consumos que quedaría, pero con el sistema fotovoltaico implementado quedando de esa manera. Ahora en el cuadro 3 se puede ver cómo sería el consumo nuevo total de toda la compañía después de implementar el sistema fotovoltaico donde se puede percibir una disminución considerable tomando en cuenta que en el periodo nocturno no se modificó ya que no está dentro del rango de funcionamiento de las 2 cargas significativas.

Una vez teniendo todos los datos de consumos y facturación disponibles se pueden llevar a la herramienta de Excel, la cual indicará el ahorro generado y los años de recuperación. Antes de eso, para calcular el valor total del sistema fotovoltaico por recomendación experta de colegas los cuales trabajaron en ventas, para un cálculo aproximado del sistema total, se multiplica \$1.05 por la cantidad de Watts instalados (Ver anexo A), donde para en este caso daría un valor aproximado de \$246 330.

Seguidamente, se procede a la inserción de datos en la herramienta, como se muestra en la ilustración 10, ahí están todos los datos insertados donde la herramienta procederá a hacer los cálculos respectivos para brindar la información que se necesita, por lo que en la ilustración 11 se puede ver parte de ellos. Dejando ver que se tendrá un ahorro de \$42 442 anuales, sin embargo, como seguidamente se ve en la ilustración 12, toda la inversión se recuperaría en el año 25 el cual es un tiempo de recuperación sumamente alto que ningún banco o empresa se

arriesgaría a utilizar dinero para implementar un proyecto solar con una recuperación muy distante por lo que automáticamente haría de esta primera propuesta una propuesta no factible para la compañía interesada.

Propuesta 2

Ahora analizando la propuesta 2 que en su mayor diferencia es que la misma cantidad de módulos solares estarán conectados a un banco de baterías en vez de interconectado a la red. Para comenzar se necesita saber el precio total del sistema, que para en este caso, por medio de la experiencia del ingeniero Pablo Sanabria Campos, se puede estimar \$4 por watt instalado (Ver anexo A), donde el resultado sería de aproximadamente \$938 400. Este incremento de precio en comparación a la propuesta 1 se da debido a que el banco de baterías es sumamente caro ya que es equipo solar especializado que en este caso se necesitará un rack L1000-SU-50/50E marca Johnson Controls como recomendación personal de 47 KWh y un inversor de 50KW. Utilizando los mismos valores de consumo como se muestra en la ilustración 10, se puede ver que a diferencia de la propuesta 1, más bien vendría a dejar una pérdida de casi un millón de colones debido a que al ser una ganancia tan pequeña en energía y un valor del sistema mucho más alto deja menos margen de ganancia, haciendo de esta propuesta, una propuesta no factible. Seguidamente, como se muestra en la ilustración 14, se puede ver el conglomerado de datos obtenidos.

En el primer gráfico de pastel de izquierda a derecha, se refiere a los datos antes de la implementación de los sistemas solares, lográndose ver lo, que actualmente, la compañía factura por energía y demanda, seguidamente, el gráfico de pastel que se encuentra en el centro se refiere a los resultados después de la implementación de dichos sistemas, donde se puede ver los \$42 442 que se ahorraría utilizando sistema fotovoltaico interconectado a la red y la pérdida de aproximadamente un millón de colones si fuese implementado el sistema fotovoltaico

conectado a un banco de baterías, seguidamente, también se puede observar los costos por demanda y energía esperados que en este caso cabe destacar que, al ser tantos años de recuperación, éste se sale de los parámetros de la herramienta de Excel, por lo tanto, algunos valores los comienza a dar de forma equivocada como los costos esperados anteriormente mencionados haciéndolos no creíbles. Finalmente, se tiene el último gráfico de pastel a la derecha el cual es el conglomerado de ahorros con la nueva facturación esperada, sin embargo, al estar ligada a los datos del segundo gráfico de pastel el cual estaba erróneo, por defecto este tercero, también, estará errado y dichos datos tampoco serán creíbles.

Una pequeña explicación del porqué esta segunda propuesta es menos factible, se nota en la ilustración 15, donde del lado izquierdo está el escenario ideal para obtener mayores ganancias, ya que la función de un sistema FV conectado a baterías es recortar aquellos picos de consumo y demanda, pero al ser nuestro caso la del lado derecho donde los picos no son altos, quiere decir que la ganancia será muy poca ya que se puede definir como ahorro todo lo que esté por debajo de la curva y por arriba de la línea punteada.

Propuesta 3

Finalmente, se decidió hacer una tercera propuesta para ver qué habría sucedido si se hubiese recortado a la mitad la capacidad de la propuesta 1. Donde para en este caso se decidió utilizar una herramienta de Excel distinta, la cual fue creada por el ingeniero Esteban Alfaro González. Con 350 módulos solares y utilizando el precio de referencia de \$1.05 recomendado por el ingeniero y ex vendedor de dichos sistemas fotovoltaicos Pablo Sanabria Campos, se obtiene un valor total del sistema de \$117 600, que como se puede observar en la ilustración 16, se obtendría un tiempo de recuperación de 9 años aproximadamente y un requerimiento de 4 inversores.

Además, se puede observar que con tal arreglo y para un tiempo de retorno de inversión de 9 años, el TIR es de 20.3% y un VAN de aproximadamente 65 millones de colones, haciendo de esta una propuesta más llamativa que las 2 anteriores,

Seguidamente, en la ilustración 17 se puede ver información técnica referente al equipo por utilizar en esta tercer propuesta, tales como datos del inversor que se utilizará que en este caso hace referencia al Sunny Tripower de 24 KWh que soporta voltajes máximos de hasta 800 voltios y corrientes máximas de hasta 33 amperios (Ver anexo C) seguido por una reiteración del valor por watt instalado de \$1.05 (Ver anexo A), el valor del dólar que aunque se encuentra en fluctuación ascendente y descendente, se estableció un promedio de 615 colones. Además, se tiene los valores en términos de energía del ICE la cual es la compañía electrificadora para los periodos de Valle, Punta y Nocturno, tarifa de Acceso, así como para los valores de demanda también y finalmente, el valor de la tasa de descuento, que como se mencionó anteriormente ésta fue una recomendación por un empleado interno del ICE el cual tiene experiencia técnica y financiera en estos tipos de proyectos.

A continuación, en la ilustración 18 se observa el gráfico que permite visualizar el ahorro anual en la facturación eléctrica donde se trazan líneas referentes a la facturación actual de la empresa y lo que vendría a ser la nueva facturación con el sistema fotovoltaico ya implementado, generando un ahorro total en el año 25 donde es el año cuando el equipo se encuentra más deteriorado de un 65% aproximadamente, que para ser un gran número de años, estaría generando en términos considerables lográndose ver un ahorro acumulado de 54 millones y medio de colones aproximadamente a lo largo de la vida útil del equipo, que para esto, se puede visualizar de una mejor manera año a año en las ilustraciones 19, 20 y 21.

Por medio de la ilustración 22 se puede visualizar mejor lo que se comentaba anteriormente sobre la disminución del porcentaje de ahorro o generación del equipo debido a su degradación, donde la línea de más arriba es el consumo de la empresa el cual se supone que

será igual desde el año 1 hasta el año 25, seguidamente, la línea del medio es el ahorro que se produce en el año 1 y finalmente la línea de más abajo viene a ser el ahorro generado que se logra ver qué tan menor es en comparación al año 1 que, sin embargo, no es tan bajo como para afectar demasiado la utilidad del proyecto.

Apreciando la ilustración 23 se puede reforzar el valor del VAN y el tiempo de recuperación donde por medio de dicho gráfico se puede ver que después del año 9 es donde se comienzan a ver ganancias para la empresa y al final de los 25 años es cuando se obtiene el valor actual neto de aproximadamente 65 millones de colones haciendo de la propuesta atractiva debido a que, si hay una ganancia significativa.

Para la ilustración 24, es un plus que se encuentra en la herramienta de Excel ya que permite ver la irradiación solar por hora, que para esta ubicación, cumple que el menor mes es el de junio con aproximadamente 0.3 KWh/m^2 al ser el medio día, y el mes de mayor radiación es el mes de marzo con 0.43 KWh/m^2 al ser el medio día, esto será de gran ayuda para entender un segundo método de diseño el cual se basa sobre la implementación de módulos solares basados en el mes de menor irradiación para equiparar un consumo y asegurarse que no habrá picos bajos de generación, dicho método se observa mejor en la ilustración 25, que por medio de este método, se nota que a diferencia del método del punto óptimo los cuales son 350 paneles solares, se necesitarán 130 más, es decir, un total de 480 módulos solares. Como se muestra en dicha ilustración, se puede ver que al final de los 25 años se obtiene un valor actual neto de aproximadamente 10.3 millones menos y una tasa interna de retorno de 18.92% a diferencia del primer método donde es de 20.31% lo cual pone este método de cálculo en una posición interesante ya que genera un VAN mayor, sin embargo, dura 1 año más aproximadamente para recuperar la inversión inicial.

Para terminar, analizando la ilustración 26, se habla sobre el mes más factible para iniciar el proyecto, siendo éste el mes de enero. Que para el caso de enero dando un resultado

de VAN de 64 965 323 de colones a diferencia del peor mes para empezar el proyecto el cual sería mayo, dando un resultado de VAN igual a 64 854 677 de colones, resultando en una diferencia aproximada de 110 mil colones que técnicamente no es una gran diferencia, pero se busca tener las ganancias más altas posibles.

Como parte del trabajo de investigación, se presentará, a continuación, un diagrama unifilar de la propuesta que es más factible.

Herramientas Utilizadas

En este trabajo de investigación, se utilizaron 3 herramientas principalmente, Helioscope el cual es un software en línea el cual permite ahorrar tiempo en la parte de diseño, ya que lleva a cabo los cálculos y tiene una base de datos del lugar donde se estará llevando a cabo el proyecto, siendo de gran ayuda por su agilidad a la hora de ser utilizada.

Seguidamente, se utilizó una herramienta de Excel la cual pertenece a la empresa en donde el autor de este trabajo labora, es una herramienta más estructurada y enfocada en ver únicamente si el proyecto será factible o no y en cuanto tiempo.

Finalmente, se tiene la segunda herramienta de Excel la cual fue diseñada por el ingeniero Esteban Alfaro en su trabajo de investigación para obtener el grado de licenciatura en ingeniería electromecánica. Donde fue subcontratado por la compañía ICE para llevar a cabo dicha herramienta, siendo avalada y utilizada por dicha compañía, dándole peso y confianza a que es una herramienta verídica y que da resultados certeros.

Normativa de generación y autoconsumo

Como bien se sabe, en Costa Rica existe una normativa regida por la ARESEP, que funciona para productores de energía para su autoconsumo donde se explica a grandes rasgos, que, de la energía generada y almacenada total en la red, solo el 49% podrá ser descargada después para su consumo cuando fuese necesario a una tarifa de acceso, que vale la pena

destacar que, para efectos de análisis de este trabajo de investigación, dicha normativa no aplica ya que la energía total generada proyectada no pasa del 100% de lo consumido mensualmente, queriendo decir así que no será necesario ni posible almacenar energía en la red para su uso posterior dejando por fuera de su alcance esta investigación.

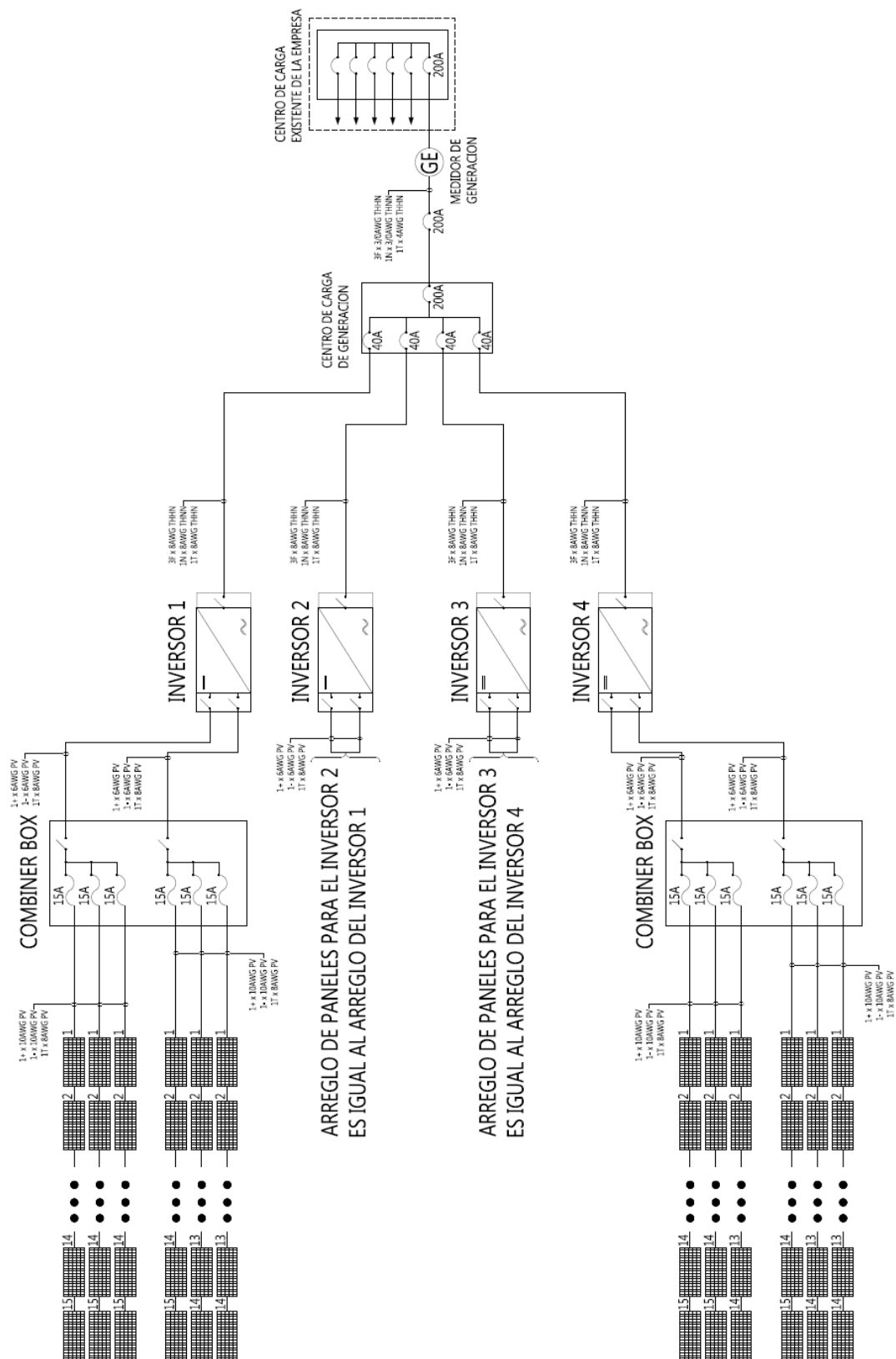


Ilustración 27 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico de la propuesta 3

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusión 1

En el desarrollo de este trabajo de investigación, se hicieron 3 propuestas distintas para poder analizar y estudiar los beneficios que se pueden obtener con la implementación de cada propuesta realizada, en donde cada una de ellas tiene equipo diferente, así como sus cantidades varían de propuesta a propuesta haciendo, así también, que en unos casos el valor del sistema aumente o disminuya.

Hablando, primeramente, de la propuesta número 1, se puede cuantificar un total de 733 módulos solares los cuales como recomendación personal fueron de la marca Canadian Solar con una potencia de 320 watts por módulo como bien se puede ver en el anexo B, que serán interconectados a la red de la empresa proveedora, para de esta forma así, tener un total de 234.6 KW instalados, generando un aproximado de 28 000 KWh por mes. Además de los módulos solares, mediante el cálculo realizado con la primera herramienta de Excel se tiene un resultado de 12 inversores necesarios en total, que para esta propuesta en específico se decidió utilizar 6 inversores monofásicos 120/240 voltios marca Sunny Boy con una capacidad de 9000 KW como se puede observar en el anexo D, para el centro de carga de las oficinas administrativas y los restantes 6 inversores serán trifásicos 480 voltios marca Sunny Tripower con una capacidad de 24000 KW como se puede observar en el anexo C para ser conectado al centro de carga del chiller.

Siguiendo con la propuesta número 2, se tienen las primeras diferencias ya que este sistema será conectado a un banco de baterías y no será interconectado a la red como en el caso de la propuesta 1, donde se mantendrán los mismos 733 módulos solares con la misma potencia cada uno que, por ende, generarán la misma cantidad de energía anteriormente mencionada. Seguidamente como parte más fundamental y crítica de esta propuesta, se tiene el rack de baterías el cual es un L1000-SU-50/50E de la marca Johnson Controls con una capacidad de 47

KWh de batería y 50 KW para el inversor. Cabe destacar que esta parte del equipo es lo que hace un sistema no interconectado a la red más caro debido a su tecnología y robustez que maneja.

Por último, se tiene el equipo necesario para la propuesta número 3 la cual es bastante parecida a la propuesta número 1 con la enorme variante de que la cantidad de módulos solares se redujo a 350 de la misma marca recomendada, esto para ver si hay una recuperación en menor tiempo, a lo que con el nuevo número de paneles se tiene una capacidad total instalada de 112 KW y se generaría un total aproximado de 12 631 KWh mensuales, necesitándose únicamente 4 inversores los cuales para mayor facilidad serán monofásicos 120/240 voltios marca Sunny Boy con una capacidad de 9000 KW como se puede observar en el anexo D.

Una vez cuantificado el equipo necesario por cada propuesta por independiente como anteriormente se hizo, se puede concluir que se está hablando de varios proyectos de gran magnitud por la cantidad alta de equipo que cada una de las propuestas conllevaría para llevar a cabo su implementación independiente de cual sea la propuesta que se seleccione.

Conclusión 2

El total de área requerida para la instalación de un sistema de módulos fotovoltaicos es un factor de suma importancia debido a que por más que se tenga la intención e interés de generar la mayor cantidad de energía posible, no será realizable si no se cuenta con el espacio adecuado para llevarlo a cabo.

Comenzando por la propuesta número 1, se tienen 733 módulos solares los cuales son de la marca Canadian Solar por recomendación personal con una potencia individual de 320 watts cada uno. Donde cada módulo tiene 1.954 metros de largo, 0.982 metros de ancho y 40 milímetros de espesor, que, hablando en términos de área, por cada módulo se tiene aproximadamente 1.92 metros cuadrados que al multiplicarlo por la cantidad total de paneles se obtendría un área total necesaria para llevar a cabo la propuesta 1 de 1406.5 metros cuadrados.

Seguidamente, analizando la propuesta 2, se tienen los mismos 733 módulos solares que, también, son marca Canadian Solar por recomendación personal de 320 watts de potencia por cada módulo. Cada módulo tiene los mismos 1.954 metros de largo, 0.982 metros de ancho y 40 milímetros de espesor que, hablando en términos de área, por cada módulo se tiene los mismos 1.92 metros cuadrados aproximadamente, que por lo tanto, haciendo la conversión para el total de paneles, se obtendría exactamente los mismos 1406.5 metros cuadrados de área necesaria para llevar a cabo la implementación del sistema fotovoltaico.

Después de analizar las primeras 2 propuestas las cuales dieron los mismos valores en términos de área, esta tercera propuesta tiene un cambio considerable, debido a que la cantidad de módulos se redujo a 350, los cuales continúan siendo de la misma marca Canadian Solar por recomendación personal con los mismos 320 watts de potencia por panel. Cada módulo tiene los mismos 1.954 metros de largo, 0.982 metros de ancho y 40 milímetros de espesor que hablando en términos de área, por cada módulo se tiene los mismos 1.92 metros cuadrados

aproximadamente. Sin embargo, a la hora de hacer la conversión para la totalidad de paneles de esta tercera propuesta se obtiene un área menor de aproximadamente 672 metros cuadrados, lográndose ver que es considerablemente menor que las primeras 2 propuestas.

No obstante, observando los datos de generación de energía por cada propuesta como se logra observar en las ilustraciones 4 y 25 y además, quedando demostrado en los cuadros 1 y 2 se puede concluir que el área total disponible no es lo suficientemente grande como para compensar el 100% los consumos de las cargas de las oficinas administrativas y el equipo de refrigeración o chiller que sirven a dichas oficinas administrativas, sin embargo, se puede asegurar que las propuestas 1 y 2 podrían realizar una compensación muy cercana a la totalidad del consumo de las cargas de ser implementados dichos sistemas fotovoltaicos.

Conclusión 3

La realización de un estudio financiero es de las partes más importantes a la hora de analizar proyectos ya que esto dirá o dará una noción de qué tan rentable o no pueda ser un proyecto, por ende, poder ver si se obtendrán ganancias o de lo contrario, se obtendrán pérdidas, haciendo así el proyecto irrealizable ya que, generalmente, nunca se busca tener pérdidas dentro de la compañía.

Retomando el análisis financiero que se hizo en este trabajo de investigación para cada una de las propuestas, comenzando con la propuesta número 1, se puede observar en la ilustración 11 el resultado obtenido de la primera herramienta de Excel que se utilizó, donde se logra apreciar que se tiene una ganancia por año alrededor de los \$42 442, sin embargo, no es solo cuestión de ver si hay ganancias o no, para este tipo de proyectos, también, es sumamente importante ver el tiempo de recuperación, que como se logra ver en la imagen 12, da un resultado de 25 años, siendo así un tiempo de retorno de inversión sumamente alta, ya que es prácticamente cuando el equipo debe reemplazarse, haciendo así de esta propuesta una propuesta muy poco viable.

Seguidamente, analizando la propuesta número 2, basándose en los resultados obtenidos de la misma herramienta 1, se puede ver en la ilustración 13 que a diferencia de la propuesta 1, en ésta, más bien hay una pérdida de casi 1 millón de colones por año, donde por razones obvias, ni siquiera 25 años serían suficientes para recuperar dicha inversión debido al valor mucho mayor de este equipo, haciendo de esta propuesta financieramente hablando aún menos viable que la primera propuesta.

Por último, se tiene la propuesta número 3, la cual fue realizada con una segunda herramienta de Excel para dar espacio a la innovación, que por medio de las ilustraciones 19, 20, 21 se puede observar que con la implementación de este sistema se podría estar ahorrado

de \$2000 hasta \$5000 anuales a lo largo de los 25 años. Sin embargo, no es solo eso un buen indicio de viabilidad, sino que también, como se puede observar en la ilustración 16, se puede ver como el proyecto se estaría terminando de pagar en el año 9, comenzando a generar ganancias en su totalidad en el año 10 en adelante.

	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2	PROPUESTA 3
AHORRO ANUAL	\$42 442	-\$2000	\$4000
TIEMPO DE RECUPERACION	25 AÑOS	+25 AÑOS	9 AÑOS

Cuadro 4 Comparación de propuestas financieramente

Con la ayuda del cuadro 4 se puede concluir que, a nivel financiero, la propuesta número 3 es la que mayores beneficios traería consigo al ser implementada, ya que tiene un tiempo de recuperación mucho menor que las otras 2 propuestas dando un margen mayor para tener ganancias hasta el final de la vida útil del equipo.

Conclusión 4

Para poder hacer la mejor selección de un sistema por implementar en un proyecto fotovoltaico, la mejor práctica es hacer distintos escenarios los cuales sean reales y puedan ser realizables para que tenga sentido dicha comparación.

Con la ayuda del cuadro 4, se puede ver la comparación de las 3 propuestas para este caso, con 2 de los factores más determinantes a la hora de selección y recomendación de un sistema fotovoltaico que para comenzar, observando la propuesta 1, se puede ver que, aunque tenga un ahorro de \$42 442 anuales, tiene un tiempo de recuperación muy alto, 25 años, que es cuando ya el equipo prácticamente debe cambiarse, dando un margen de ganancia prácticamente nulo.

Seguidamente, analizando la propuesta 2, se puede ver que anualmente no tiene ningún ahorro, más bien genera una pérdida de casi 1 millón de colones, y esto se debe a que, al utilizar un equipo de almacenamiento especial, es más caro el sistema, por ende, teniendo una inversión inicial mayor, donde se ve reflejado en la disminución de ganancias perceptibles anualmente haciendo de esta propuesta la menos atractiva.

Por último, la propuesta número 3 que es la que menor ahorro anual genera, sin embargo, por ser un sistema más pequeño, es una ventaja para su recuperación en 9 años aproximadamente.

Por otra parte, de manera muy importante, como se puede observar en las ilustraciones 4 y 21, se puede ver que para en las propuestas 1 y 2, se tiene una generación de 337 000 KWh en comparación con la propuesta 3 donde se tiene apenas 137 727 KWh, esto debido a que la propuesta 3 como ya se ha mencionado anteriormente, es casi la mitad de equipo en comparación con las propuestas 1 y 2.

No obstante, analizando tanto la parte técnica de generación de energía como la parte de retorno de inversión y ganancias a final de la vida útil del equipo, aunque la propuesta 3 sea el sistema más pequeño en términos de equipo y generación de energía, es el que más ganancias da, debido a que, al ser una inversión inicial mucho menor, ésta es más fácil y rápida de recuperar a través de los años, dando más años de ganancias hasta el final de su vida útil.

Conclusión 5

Gracias a la investigación realizada en este trabajo, se pudo notar cierto aspecto importante que hace de los proyectos fotovoltaicos, proyectos poco rentables cuando se trata de empresas con gran potencial y capacidad a nivel industrial que utilizan la media tensión.

En efecto, tiene que ver con la tarifa de media tensión, el factor que hace de un proyecto solar, poco rentable, el detalle está en la tarifa que esta división tiene en específico, ya que como se puede observar en la ilustración 8, para el periodo valle, el valor por KWh es sumamente bajo en comparación con el periodo punta, que además cabe destacar que el periodo valle es el periodo más extenso en 1 día, por lo tanto, la mayor ganancia sería reducir el consumo estando en periodo punta, pero por el arreglo ya establecido y normado de periodos y tarifas por la ARESEP, no es posible cambiarlo a conveniencia, siendo así un ahorro menor que si fuese una tarifa comercial o residencial, por ejemplo, donde el valor del KWh es mayor, por lo tanto, a la hora de estar ahorrando energía por medio de la energía generada que se está usando en vez de pedirla a la compañía electrificadora, se vería el ahorro sustancial que no se puede percibir en tarifa T-MT.

Por ende, se puede concluir que para toda aquella empresa que se encuentre regida por la tarifa de media tensión T-MT, un proyecto de generación fotovoltaica, no será tan rentable como si fuese con otra tarifa distinta, haciendo de primera entrada, poco atractivo la mayoría de escenarios que se quieran planear.

Recomendaciones

De acuerdo con personal del área de mantenimiento de dicha compañía, el equipo de aire acondicionado o chiller tiene una capacidad mayor a la necesaria para poder climatizar de manera agradable las oficinas administrativas. Por lo tanto, se recomienda buscar la posibilidad de cambiar dicho equipo por uno de menor capacidad para que de esta manera, los consumos se puedan ver reducidos y haya una facturación menor mensualmente.

Como se demostró a lo largo del trabajo de investigación, la propuesta número 3 es la más factible para su implementación, sin embargo, a nivel financiero, no se obtienen ganancias muy altas lo que posiblemente no lo haga tan atractiva para su implementación. No obstante, cabe recordar que Costa Rica se encuentra en una meta país de la descarbonización, por lo tanto, al ser un proyecto con fuentes renovables, se recomendaría hacer la implementación de la propuesta 3, que, aunque las ganancias no sean atractivas al 100%, darían una mejor imagen a la compañía ya que estaría apoyando las energías verdes, estaría colaborando con la meta país y a su vez poco, pero seguro, reduciendo la facturación mensual.

Se recomienda la inspección y análisis de las estructuras sobre las cuales los módulos solares serán colocados, para asegurarse de esta forma que no habrá inconvenientes en la realización del proyecto, o que no vaya a soportar todo el equipo solar. Evitando accidentes o pérdidas de equipo o materiales. Así como también, se recomienda la inspección alrededor de los parques y de donde estarán las estructuras, asegurándose que no haya objetos que puedan perjudicar la generación de los paneles en su máxima capacidad.

Así mismo, una buena iniciativa por parte de la empresa, sería ir más a fondo con las entidades financieras del país buscando una tasa de interés más baja, ya que la que presenta el actual trabajo es simplemente una recomendación. Cuanto más baja sea dicha tasa de interés,

más alta podrá ser la ganancia, actualmente hay mucho mercado para los proyectos de generación de energía por lo que cabe la posibilidad de mejorar las ganancias por medio de esa variable.

Se recomienda que, por parte de la empresa interesada, se haga un estudio más profundo sobre otros métodos de generación de energía, como lo es la generación de energía por medio de hidrógeno con celdas de combustible. Esto para tener una visión mayor y más opciones para analizar y poder ver y demostrar con cual se estaría obteniendo mayores ganancias y ventajas para la empresa.

Por último, en caso de que la compañía esté interesada realmente en llevar a cabo alguna de las propuestas incluidas en esta investigación, se recomienda que sea llevada a cabo la propuesta número 3 ya que es la más factible y la que más beneficios trae consigo.

Referencias

Bibliografía

- Medrano , C. A., Díaz, D. D., Cruz, R. V., & López, V. G. (26 de 2 de 2017). Obtenido de <http://solucionesparaelfuturo.com.mx/proyectos/041-10-B.pdf>
- Abella, M. A. (27 de 2 de 2017). Obtenido de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- Antonio, G. S., Guerrero, J. G., Hernández , L. H., & Santillán, J. R. (5 de 2011). Obtenido de <http://documents.mx/documents/sistemas-de-paneles-solares-fotovoltaicos-para-un-edificio.html>
- Arias, A. S. (27 de 2 de 2017). *economipedia*. Obtenido de <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Cardozo, S. A. (11 de 3 de 2015). Obtenido de <https://prezi.com/buc3sgqg07af/sistema-de-puesta-a-tierra-en-sub-estaciones/>
- Desconocido. (2012). *Electro cables*. Obtenido de <http://electrocable.com/productos/cobre/THHN.html>
- Desconocido. (28 de 2 de 2012). *Wiki EOI*. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Radiaci%C3%B3n_directa,_difusa_y_reflejada_en_Ecomateriales_y_construcci%C3%B3n_sostenible
- Desconocido. (2 de 6 de 2013). *MEyE Seguridad y Protección*. Obtenido de <https://meyeseguridadyproteccion.wordpress.com/2013/06/02/interruptores-de-circuitos-por-falla-a-tierra-gfci/>
- Desconocido. (2013). *Viakon*. Obtenido de <http://www.viakon.com/catalogo/producto/297/cable-multiconductor-tgp-pvc-nylon-pvc-600v-90-c>
- Desconocido. (29 de 10 de 2016). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_de_alambre_estadounidense#Tabla
- Desconocido. (28 de 11 de 2016). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Toma_de_tierra

- Desconocido. (26 de 2 de 2017). Obtenido de <http://www.educa.madrid.org/web/ies.victoriakent.torrejondeardo/Departamentos/DFyQ/energia/e-3/energia2.htm>
- Desconocido. (26 de 2 de 2017). *Galeon*. Obtenido de <http://solarfotovoltaica.galeon.com/ARCHIVOS/efecto.htm>
- Desconocido. (27 de 2 de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Acometida#Tipos_de_acometidas_por_uso
- Electric, G. (26 de 2 de 2017). *General Electric*. Obtenido de <http://mx.geindustrial.com/print/node/59771>
- Espluga, N. (2004). *AngelFire*. Obtenido de <http://www.angelfire.com/electronic2/electronicaanalogica/celda.html>
- Furest, J. (26 de 2 de 2017). *inia*. Obtenido de http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_helio.htm
- Goró, S. (30 de 9 de 2013). *Electrotecnia*. Obtenido de <http://profesordeelectrotecnia.blogspot.com/2013/09/entrada1.html>
- Greenloft. (6 de 2014). *Greenloft*. Obtenido de <http://www.greenloft.es/preguntas-frecuentes-renovables/135/de-qu-factores-depende-el-rendimiento-de-un-panel-solar-fotovoltaicoa-.html>
- Karen. (26 de 9 de 2010). Obtenido de <http://capinfoiii.blogspot.com/2010/09/que-es-un-centro-de-carga-un-centro-de.html>
- Lamigueiro, O. P. (22 de 10 de 2018). *oscarperpinan*. Obtenido de oscarperpinan: https://oscarperpinan.github.io/esf/SFA_Componentes.pdf
- Márquez, J. (16 de 4 de 2014). *Barinas*. Obtenido de http://www.barrinas.net.ve/index.php?p=news&id=3034&titulo=La_Radiacion_Solar
- Morales, V. V. (27 de 2 de 2017). *economipedia*. Obtenido de <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Rojas, G. (26 de 2 de 2017). Obtenido de <https://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/manual-de-puesta-a-tierra.pdf>

Sebastián, E. (21 de 6 de 2013). Obtenido de <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>

Venio. (27 de 4 de 2010). *Venio*. Obtenido de <http://venio.info/pregunta/que-es-un-vatihorimetro-22046.html>

Zuñiga, H. (25 de 1 de 2014). Obtenido de <https://prezi.com/w154hscatroq/un-conductor-electrico-es-un-material-que-ofrece-poca-resist/>

Anexos

Anexo A

Método rápido para obtener precio de sistemas fotovoltaicos

FW: Consulta para obtener precio de sistema Fotovoltaico

Ronald Solano Castillo <ronald.solano.castillo@jci.com>

Mar 16/4/2019 16:05

Para: ronaldsolano96@hotmail.com <ronaldsolano96@hotmail.com>

From: Pablo Sanabria

Sent: Monday, April 15, 2019 12:10 PM

To: Ronald Solano Castillo <ronald.solano.castillo@jci.com>

Subject: RE: Consulta para obtener precio de sistema Fotovoltaico

Buenos días estimado,

Yo trabajé para la empresa Solar Ing durante 2 años, en el área de presupuestos. Allí me encargaba de estimar la cantidad de materiales para la instalación así como otros costos y utilidades que debía tener la empresa.

Para el cálculo del costo total de sistemas fotovoltaicos, conectados y desconectados de la red de distribución, tanto en la empresa como en el sector, se tienen valores estándar para realizar una estimación del precio de los mismos. Estos valores son dependientes del tamaño en kW o kWh de los sistemas. Durante el tiempo que labor en la empresa, para el tamaños de los sistemas propuestos son de entre 0.9\$/W y 1.15 \$/W para el Sistema conectado a la red con el tipo de panel propuesto (policristalino) y entre 3 \$/W y 5 \$/W para el Sistema desconectado de la red.

Cualquier duda o consulta con mucho gusto.

Pablo Sanabria

Project Engineer Junior

Sales Support

Center of Excellence Network

San Jose, Costa Rica

www.johnsoncontrols.com

Parque Empresarial Forum 1, Edificio H, Piso 2

San José, Costa Rica

THIS MESSAGE MAY CONTAIN INFORMATION THAT IS PRIVILEGED AND CONFIDENTIAL. The information contained in, or attached to, this message is intended solely for the use of the specific person(s) named above. If you are not the intended recipient then you have received this communication in error and are prohibited from review, retransmission, taking any action in reliance upon, sharing the content of, disseminating or copying this message and any of the attachments in any way. If you have received this communication in error, please contact the sender immediately and promptly delete this message from all types of media and devices. Thank you.

Please consider the environment before printing this message.

From: Ronald Solano Castillo

Sent: Monday, April 15, 2019 9:38 AM

To: Pablo Sanabria Campos <pablo.s.sanabria.campos@jci.com>

Subject: Consulta para obtener precio de sistema Fotovoltaico

Anexo B

Ficha técnica de panel Canadian Solar.







MAXPOWER

CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

- 
Excellent module efficiency of up to 16.97 %
- 
Outstanding low irradiance performance of up to 96.0 %
- 
High PTC rating of up to 91.55 %
- 
IP67 junction box for long-term weather endurance
- 
Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa


linear power output warranty


product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
 ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / CQC / MCS / INMETRO
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
 UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1
 IEC60068-2-68: SGS
 Take-e-way










* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 16 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.
 545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

Anexo C

Ficha técnica de inversor Sunny Tripower 24000TL

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US /
20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US

**Design flexibility**

- 1000 V DC or 600 V DC
- Two independent DC inputs
- 15° to 90° mounting angle range
- Detachable DC Connection Unit

System efficiency

- 98.0% CEC, 98.6% Peak
- 1000 V DC increases system efficiency
- OptiTrac Global Peak MPPT

Enhanced safety

- Integrated DC AFCI
- Floating system with all-pole sensitive ground fault protection
- Reverse polarity indicator in combination with Connection Unit

Future-proof

- Complete grid management feature set
- Integrated Speedwire, WebConnect, ModBus interface
- Bidirectional Ethernet communications
- Utility-interactive controls for active and reactive power

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US

The ultimate solution for decentralized PV plants, now up to 30 kilowatts

The world's best-selling three-phase PV inverter, the SMA Sunny Tripower TL-US, is raising the bar for decentralized commercial PV systems. This three-phase, transformerless inverter is UL listed for up to 1000 V DC maximum system voltage and has a peak efficiency above 98 percent, while OptiTrac Global Peak minimizes the effects of shade for maximum energy production. The Sunny Tripower delivers a future-proof solution with full grid management functionality, cutting edge communications and advanced monitoring. The Sunny Tripower is also equipped with all-pole ground fault protection and integrated AFCI for a safe, reliable solution. It offers unmatched flexibility with a wide input voltage range and two independent MPPT trackers. Suitable for both 600 V DC and 1,000 V DC applications, the Sunny Tripower allows for flexible design and a lower levelized cost of energy.

www.SMA-America.com

Technical data	Sunny Tripower 12000TL-US	Sunny Tripower 15000TL-US	Sunny Tripower 20000TL-US	Sunny Tripower 24000TL-US	Sunny Tripower 30000TL-US
Input (DC)					
Max. array power	18000 Wp STC	22500 Wp STC	30000 Wp STC	36000 Wp STC	45000 Wp STC
Max. DC voltage	*1000 V				
Rated MPPT voltage range	300 V...800 V	300 V...800 V	380 V...800 V	450 V...800 V	500 V...800 V
MPPT operating voltage range	150 V...1000 V				
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V				
Number of MPPT tracker inputs	2				
Max. operating input current / per MPPT tracker	66 A / 33 A				
Max. short circuit current per MPPT / string input	53 A / 53 A				
Output (AC)					
AC nominal power	12000 W	15000 W	20000 W	24000 W	30000 W
Max. AC apparent power	12000 VA	15000 VA	20000 VA	24000 VA	30000 VA
Output phases / line connections	3 / 3+NPE				3 / 3+NPE, 3PE
Nominal AC voltage	480 / 277 V WYE				480 / 277 V WYE, 480 V Delta
AC voltage range	244 V...305 V				
Rated AC grid frequency	60 Hz				
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz...+5 Hz				
Max. output current	14.4 A	18 A	24 A	29 A	36.2 A
Power factor at rated power / adjustable displacement	1 / 0.0 leading...0.0 lagging				
Harmonics	< 3%				
Efficiency					
Max. efficiency / CEC efficiency	98.2% / 97.5%	98.2% / 97.5%	98.5% / 97.5%	98.5% / 98.0%	98.6% / 98.0%
Protection devices					
DC reverse polarity protection	●				
Ground fault monitoring / grid monitoring	●				
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●				
DC AFCI compliant to UL 1699B	●				
AC short circuit protection	●				
Protection class / overvoltage category	I / IV				
General data					
Dimensions (W / H / D) in mm (in)	665 / 650 / 265 (26.2 / 25.6 / 10.4)				
Packing dimensions (W / H / D) in mm (in)	780 / 790 / 380 (30.7 / 31.1 / 15.0)				
Weight	55 kg (121 lbs)				
Packing weight	61 kg (134.5 lbs)				
Operating temperature range	-25°C...+60°C				
Noise emission (typical) / internal consumption at night	51 dB(A) / 1 W				
Topology	Transformerless				
Cooling concept / electronics protection rating	OptiCool / NEMA 3R				
Features					
Display / LED indicators (Status / Fault / Communication)	- / ●				
Interface: RS485 / Speedwire, WebConnect	○ / ●				
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●				
Mounting angle range	1.5°...90°				
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○				
Certifications and approvals	UL 1741, UL 1741SA, CA rule 21, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1				
NOTE: US inverters ship with gray lids. Data at nominal conditions, August 2017. *Suitable for 600 V DC max. systems					
● Standard features ○ Optional features - Not available					
Type designation	STP 12000TL-US-10	STP 15000TL-US-10	STP 20000TL-US-10	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10

Accessories



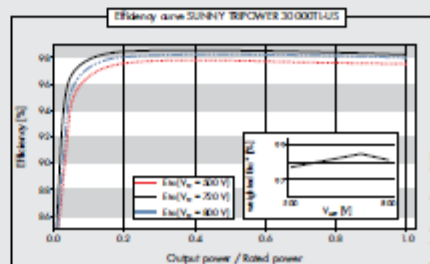
RS485 interface DM-485CUS-10



Connection Unit CU 1000US-11



SMA Cluster Controller C-CCN-10



STP12000TL-US-10, STP15000TL-US-10, STP20000TL-US-10, STP24000TL-US-10, STP30000TL-US-10 are subject to change, see for more information: www.sma.com. All products and services provided as well as related costs are subject to change, see for more information: www.sma.com. All products and services provided as well as related costs are subject to change, see for more information: www.sma.com.

Anexo D

Ficha técnica de inversor Sunny Boy SB9000TL



SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US

SB 9000TLUS-12 / SB 10000TLUS-12 / SB 11000TLUS-12





NOW AVAILABLE FOR 240 V

Innovative	Economical	Reliable	Convenient
<ul style="list-style-type: none"> • First transformerless SMA inverter to be certified in accordance with UL 1741 • First inverter with arc-fault circuit interrupter listed according to UL 1699B 	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum efficiency of 98.7% • Class-leading CEC efficiency of 98.5% • Superior MPP tracking with OptiTrac™ • Transformerless, with H5 topology 	<ul style="list-style-type: none"> • OptiCool™ active temperature management 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated DC disconnect • SMA Power Balancer for three-phase grid connection • WebConnect compatible

SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US

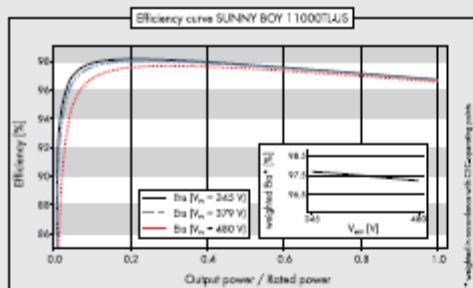
Transformerless design, maximum energy production

The Sunny Boy TL-US series is UL listed for North America and features SMA's innovative H5 topology, resulting in superior efficiencies of more than 98 percent and unmatched solar power production. The transformerless design reduces weight, increases the speed of payback and provides optimum value for any residential or decentralized commercial PV system. The Sunny Boy TL-US series for North America is the ideal choice in transformerless technology.

www.SMA-America.com

SUNNY BOY 9000TL-US / 10000TL-US / 11000TL-US

Technical data	Sunny Boy 9000TL-US	
	208 V	240 V
Input (DC)		
Max. usable DC power (@ cos ϕ = 1)	9400 W	9400 W
Max. input voltage	600 V	600 V
MPP voltage range / rated input voltage	300 V - 480 V / 345 V	345 V - 480 V / 379 V
Min. input voltage / initial input voltage	300 V / 360 V	345 V / 360 V
Max. input current	31.0 A	27.1 A
Max. input current per string	31.0 A	27.1 A
Number of independent MPP inputs	1	1
Strings per MPP input @ Combiner Box	6	6
Output (AC)		
Rated power / max. apparent AC power	9000 W / 9000 VA	
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	208 V / 183 V - 229 V	240 V / 211 V - 264 V
AC power frequency / range	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz
Max. output current	43.3 A	37.5 A
Power factor at rated power	1	
Feed-in phases / connection phases	1 / 2	
Efficiency		
CEC efficiency / max. efficiency	98 % / 98.6 %	98 % / 98.7 %
Protective devices		
DC reverse polarity protection	●	
AC short-circuit current capability	●	
Galvanic isolation	-	
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	
Arc-fault circuit interrupter (according to UL 16998)	●	
Protection class	I	
Overvoltage category	IV	
General data		
Dimensions (W / H / D)	470 / 615 / 240 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)	
Dimensions of DC Disconnect (W / H / D)	187 / 297 / 190 mm (7.28 / 11.7 / 7.5 inch)	
Weight	35 kg / 78 lb	
Weight of DC Disconnect	3.5 kg / 8 lb	
Operating temperature range	-40 °C ... +60 °C / -40 °F ... +140 °F	
Noise emission (typical)	46 dB(A)	
Self-consumption (night)	0.15 W	
Topology	Transformerless H5	
Cooling concept	OptiCool	
Degree of protection	NEMA 3R	
Degree of protection of connection area	NEMA 3R	
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	
Features		
DC connection	Screw terminal	
AC connection	Screw terminal	
Display	Text line	
Interface: RS485 / Bluetooth / WebConnect	○ / ○ / ○	
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○	
Certificates and approvals (more available on request)	UL1741, UL1998, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1, UL 16998	
● Standard features ○ Optional features - Not available		
NOTE: US inverters ship with gray lids Data at nominal conditions		
Type designation	SB 9000TLUS-12	



Accessories

- Sunny Boy Combiner Box SBCTB-10
- BladePort Piggy-Back 0795-NV-NR with External Antenna 0795-EXTANT-NR
- Inverter RS485 485USP5-NR
- SMA Power Balancer Set PBL08US-10-NR
- WebConnect Piggy-Back SW76-US-10

● Standard feature
 ○ Optional feature
 - Not available
 Data at nominal conditions

Sunny Boy 10000TL-US		Sunny Boy 11000TL-US
208 V	240 V	240 V
10500 W	10400 W	11500 W
600 V	600 V	600 V
300 V - 480 V / 345 V	345 V - 480 V / 379 V	345 V - 480 V / 379 V
300 V / 360 V	345 V / 360 V	345 V / 360 V
35 A	30.2 A	33.3 A
35 A	30.2 A	33.3 A
1	1	1
6	6	6
10000 W / 10000 VA		11000 W / 11000 VA
208 V / 183 V - 229 V	240 V / 211 V - 264 V	240 V / 211 V - 264 V
60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz	60 Hz / 59.3 Hz ... 60.5 Hz
48.1 A	41.7 A	45.8 A
	1	1
	1 / 2	1 / 2
98.0 % / 98.6 %	98 % / 98.7 %	98 % / 98.7 %
●	●	●
●	●	●
-	-	-
●	●	●
●	●	●
I	I	I
IV	IV	IV
470 / 615 / 240 mm [18.4 / 24.1 / 9.5 inch]		
187 / 297 / 190 mm [7.28 / 11.7 / 7.5 inch]		
35 kg / 78 lb		
3.5 kg / 8 lb		
-40 °C ... +60 °C / -40 °F ... +140 °F		
46 dB(A)	46 dB(A)	
0.15 W	0.15 W	
Transformerless H5	Transformerless H5	
OptiCool	OptiCool	
NEMA 3R	NEMA 3R	
NEMA 3R	NEMA 3R	
100 %	100 %	
Screw terminal	Screw terminal	
Screw terminal	Screw terminal	
Text line	Text line	
○ / ○ / ○	○ / ○ / ○	
● / ○ / ○	● / ○ / ○	
UL1741, UL1998, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1, UL 16998		
SB 10000TLUS-12		SB 11000TLUS-12

Anexo E

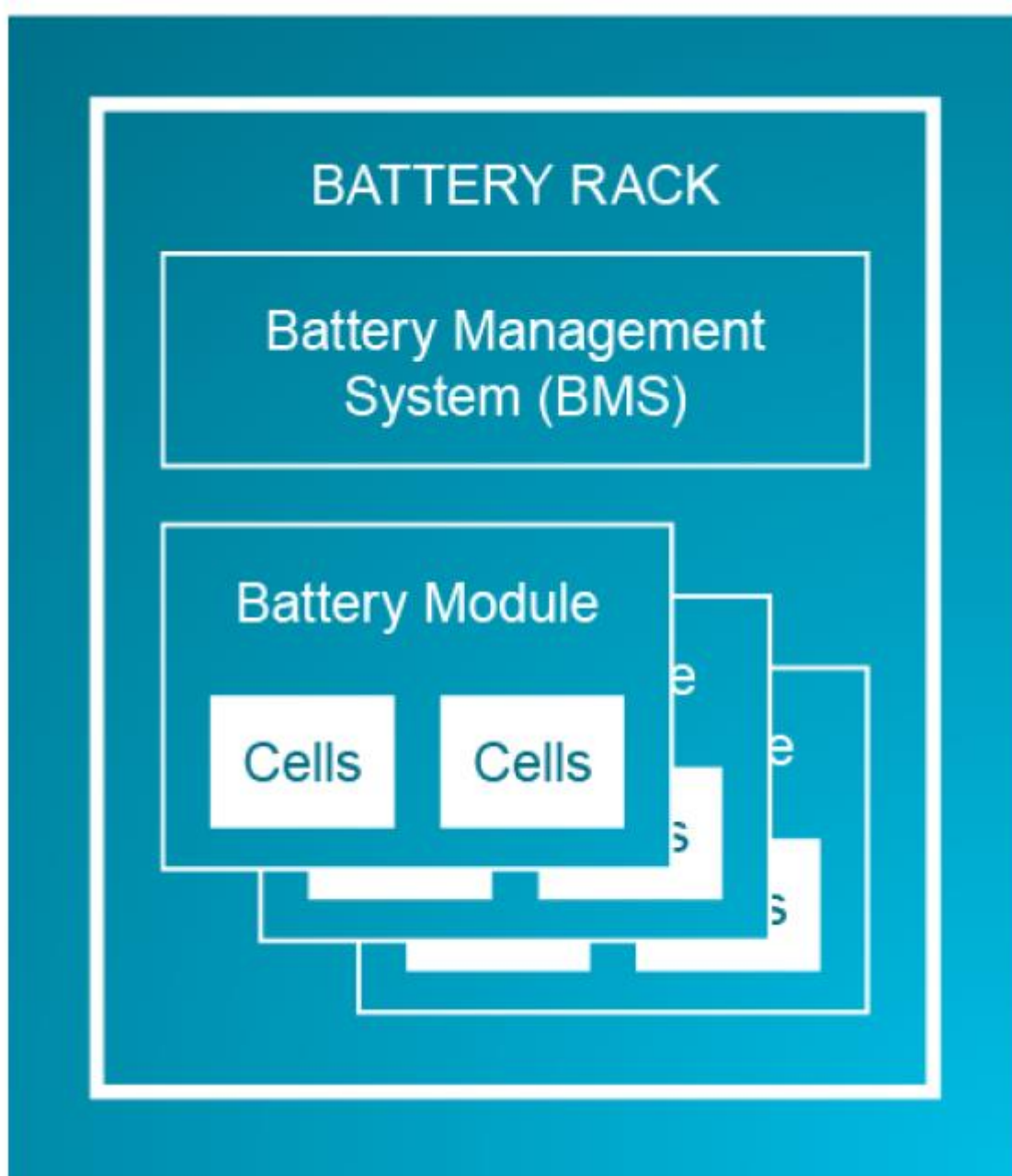
Tasas de interés del BAC

	Banca de Desarrollo	Crédito Comercial	Créditos Verdes
Perfil del cliente (Aplica para físico y Jurídico)	Micro y Pequeña empresa con mínimo 3 años de estar en funcionamiento	Mediana empresa con mínimo 3 años de estar en funcionamiento	Micro, Pequeña y Mediana empresa con mínimo 3 años de estar en funcionamiento
Plazo	Corto Plazo: 12 Meses Largo Plazo: 180 Meses (máximo)	Corto Plazo: 12 Meses Largo Plazo: 180 Meses (máximo)	Largo Plazo: 120 Meses (máximo)
Tasa	3% dólares TBP colones	Tasas Ventanilla \$11,80 % ₡16,85 %	FMO: 6 + Libor 3 meses Tasa Banca de Desarrollo Tasa Comercial
Garantías	Real / Prendaria / Fiduciaria / Aval	Real / Prendaria / Fiduciaria / Aval	Mobiliaria / Fiduciaria
Requisitos especiales	Declaración Jurada Banca de Desarrollo Análisis de GIE	Perfil Pymes	Estudio de viabilidad técnica y financiera



Anexo F**Gabinete con baterías fotovoltaicas**

Acomodo de un gabinete de baterías



El conjunto o “rack” de baterías fotovoltaicas está compuesta primeramente por dicho rack el cual es una estructura metálica, dentro de ese rack se encuentra el BMS que lo que permite es el control de cuando la batería debe cargar o descargar la energía, seguidamente, están los módulos de batería que son pequeños cajones los cuales internamente tienen lo que son las celdas, que es donde realmente se almacena la energía.

Características técnicas de las celdas

Characteristic	Energy Cell	Power Cell	Units
Capacity @ 25°C	63	63.9	Ah
Total Energy @ 25°C	236	234	Wh
Energy Density (gravimetric)	193	202	Wh/kg
Temperature Range	-30 to +60 -22 to +140	-30 to +60 -22 to +140	°C °F
Li-ion Chemistry	NMC / Graphite	NMC / Graphite	
Max Full Discharge Time	1	0.5	hrs
Min Full Charge Time	1	0.5	hrs

Características técnicas de los módulos de baterías

Characteristic	Energy Module	Power Module	Units
Capacity @ 25°C	126	128	Ah
Total Energy @ 25°C	6.5	6.6	kWh
Nominal Voltage	49.7	51.5	Vdc
Voltage Range	42 – 58.8	42 – 59.5	Vdc
Dimensions (W x H x D)	445 x 110 x 578 17.5 x 4.33 x 22.75	445 x 110 x 592 17.5 x 4.33 x 23.3	mm in
Weight	47 104	47 104	kg lbs
Part Number	EM6	PM6	

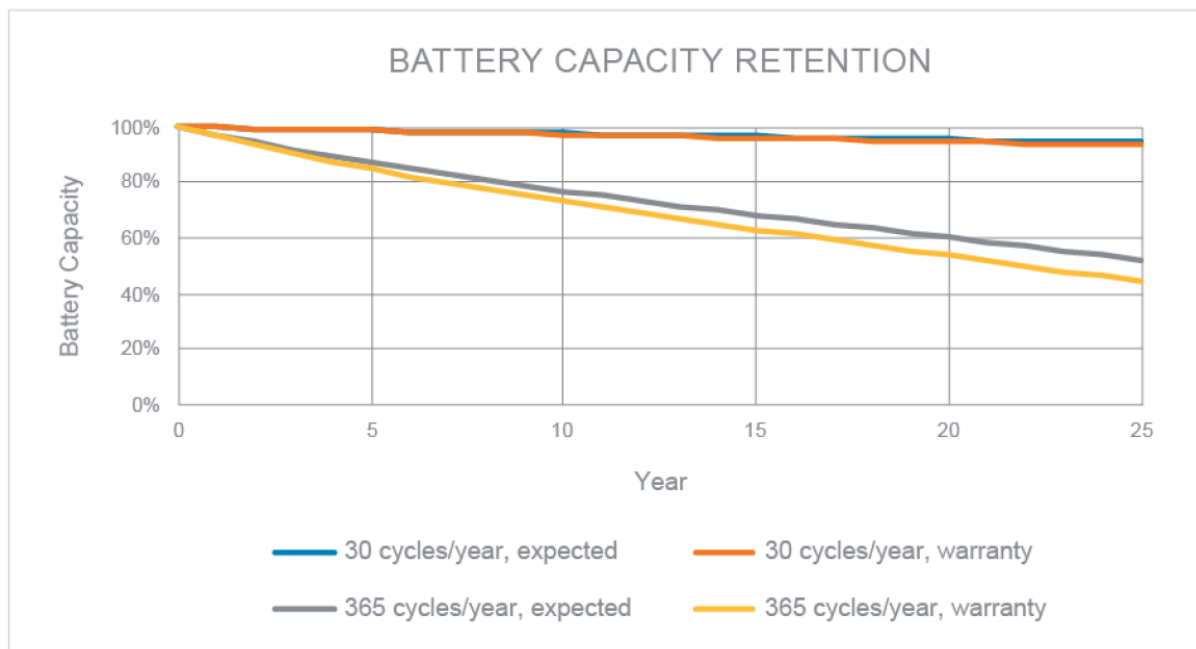
Características técnicas del ambiente necesario para los racks de baterías

Characteristic	Energy Racks	Power Racks
Recommended Operating Temperature	+18 to +28°C +64 to +82°F	+18 to +28°C +64 to +82°F
Operating Temperature	-10 to +40°C +14 to +104°F	-10 to +40°C +14 to +104°F
Storage Temperature	-25 to +70°C -13 to +158°F	-25 to +70°C -13 to +158°F
Max Relative Humidity	< 95%	< 95%
Operating Elevation	< 3000 m < 9842 ft	< 3000 m < 9842 ft

Características técnicas de la capacidad de almacenaje e inversión

Model	Energy (E)	Power (P)	PCS	Units
BU-50	45	46	None	kWh
BU-100	91	92	None	kWh
BU-125	137	NA	None	kWh
Model	Energy (E)	Power (P)	PCS	Units
SU-50/50	45	46	50	kWh/kW
SU-50/100	91	92	50	kWh/kW

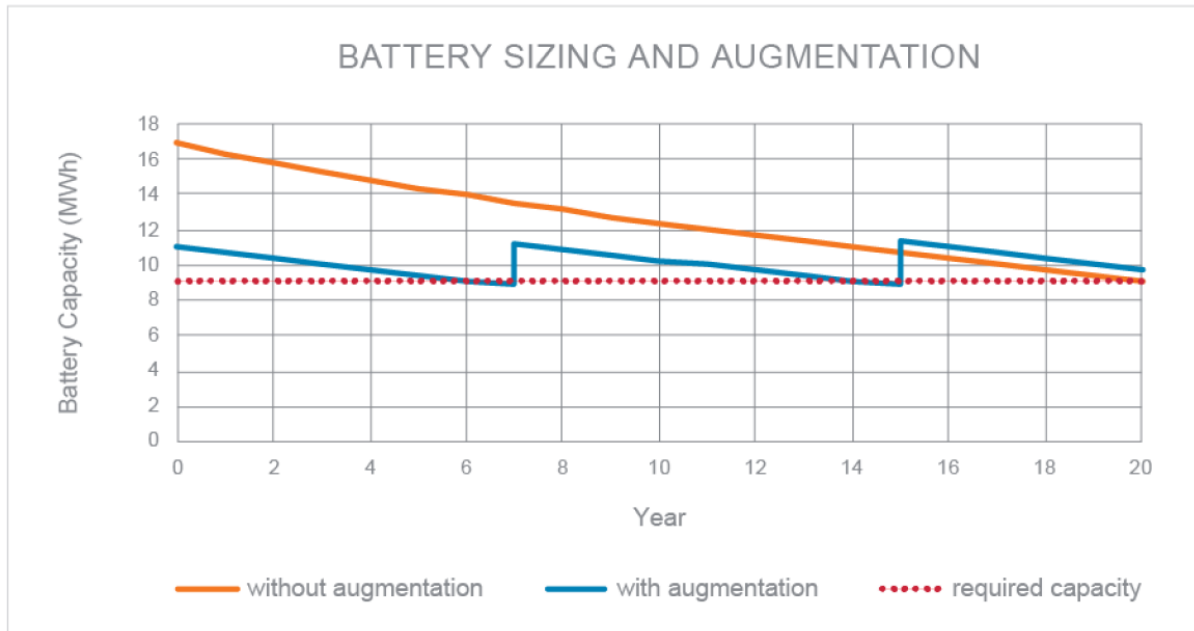
Capacidad de retención de la batería



Se tiene dos escenarios en donde la línea azul es de 30 ciclos o descargas por año y la línea gris es de 365 ciclos o descargas por año, donde se hace una comparación con las líneas de garantía en caso de que se pagase una, esto quiere decir que la línea anaranjada es para la garantía en el caso de que haya 30 ciclos o descargas por año y la amarilla en el caso de 365 ciclos o descargas por año, donde sí se nota, es muy poca el desfase que se tiene en comparación con las línea de funcionamiento normal, lo que se pretende tener con la garantía es como un límite en el que si baja más de lo que se espera, es donde la garantía entraría y se procedería a

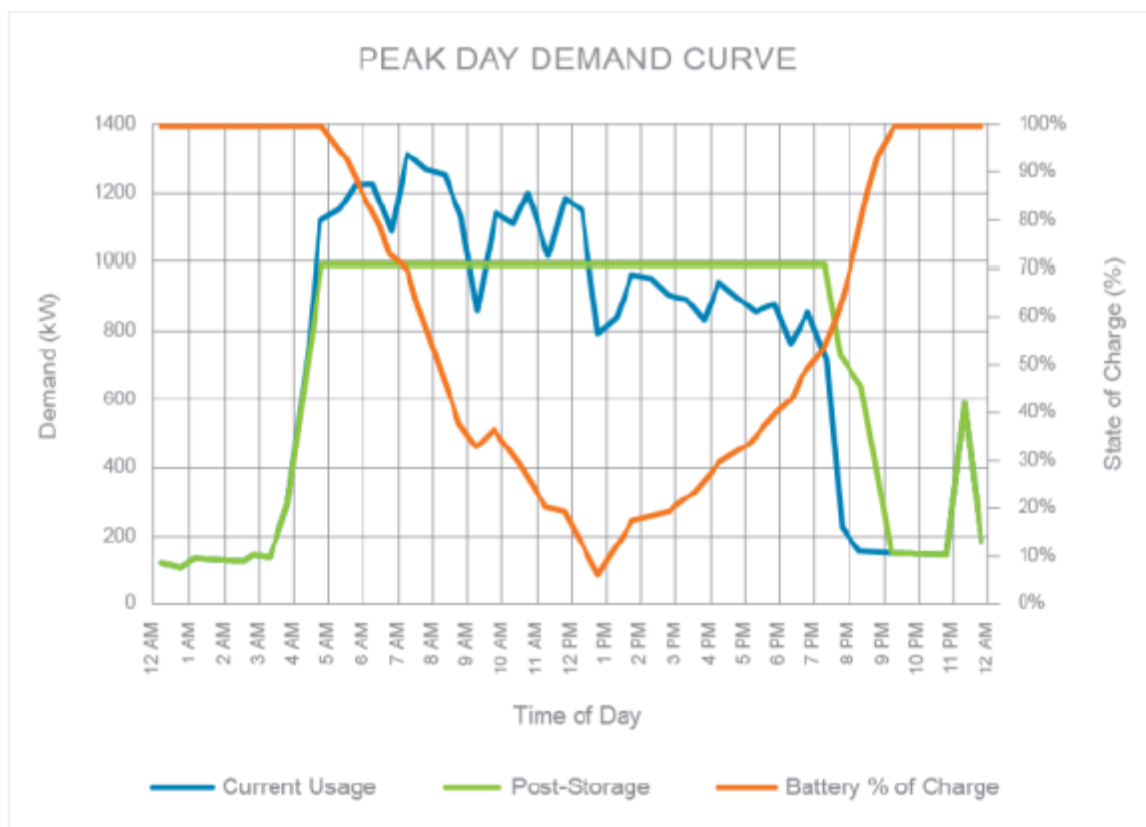
cambiar el equipo o buscar una solución, de lo contrario, el equipo se mantendría con su funcionamiento normal.

Estrategia de aumento de baterías a través de los años

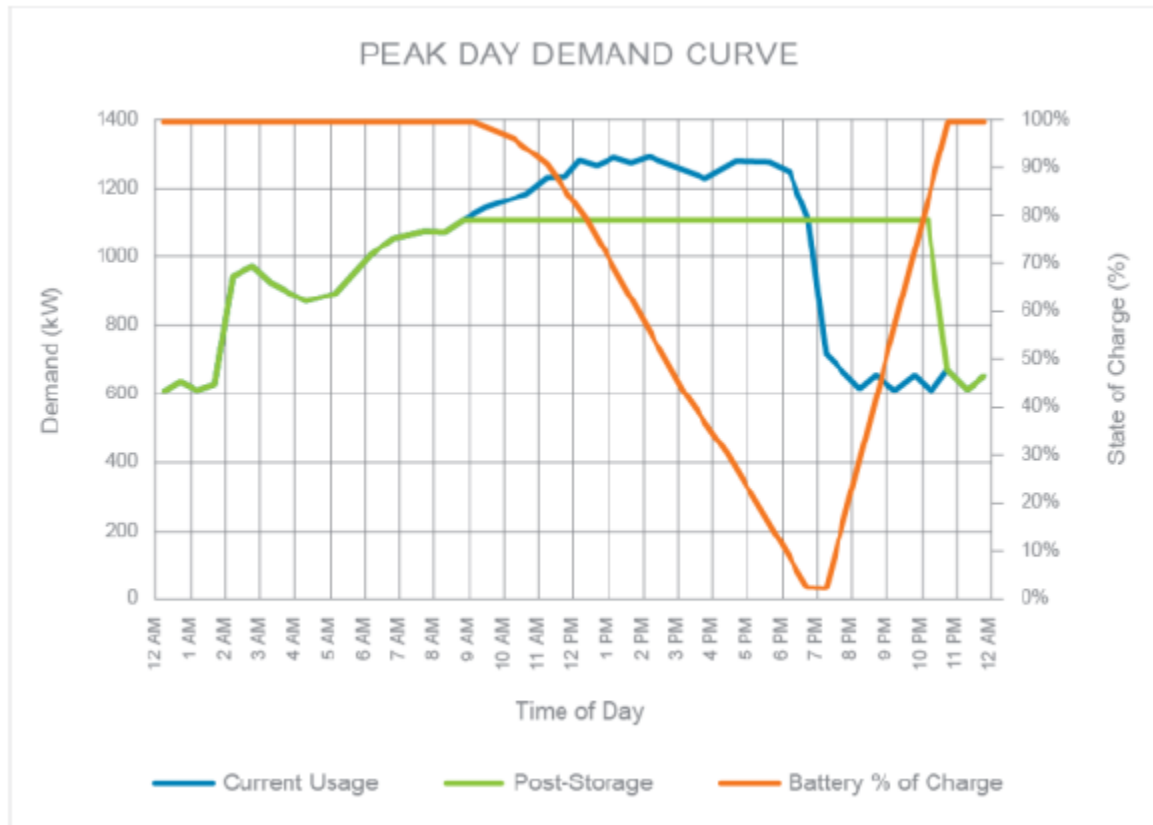


En el área de baterías se tiene la estrategia del aumento de la cantidad de baterías a través de los años, esto es una estrategia, tanto técnica como financiera, en donde la disminución de la eficiencia en las arterias es lo que influye en estos dos factores. Como se puede observar la línea anaranjada, representa un conjunto de baterías que no se le hará el aumento de capacidad, lo que para poder ir desde inicio a fin sin fallas en el almacenaje, se necesitaría muchas cantidades de racks teniéndose una capacidad de almacenaje enorme, haciéndolo muy caro, sin embargo, en la línea azul como se muestra arriba, se tiene el método de aumento de capacidad, que cada cierto tiempo se aumentará la capacidad de almacenaje, haciéndose en pequeños tractos, provocando que desde un inicio no sea una propuesta más cara y no haya un sobredimensionamiento del sistema.

Peak shaving o recorte de picos



En esta primera imagen, se puede notar cómo la línea azul representa el uso actual del lugar donde se desea implementar el sistema, la línea verde representa el recorte de picos que realizaría el sistema fotovoltaico con baterías y la línea anaranjada representa la longitud de tiempo en donde la batería estará cargando y descargando durante el día. Cuanto más tiempo tenga que almacenar energía para poder recortar dichos picos, mayor tendrá que ser la capacidad total del banco de baterías.



En esta imagen se tiene exactamente el mismo significado para las líneas de colores, que lo que se quiere hacer ver es que, a diferencia de la primera imagen del recorte de picos, en este caso, más bien se requiere una capacidad menor de almacenamiento. Esto debido a que el pico que se tiene que recortar está en por un periodo menor durante el día, haciendo así que no requiera tantas unidades de almacenaje, y por ende, un equipo más pequeño.

Especificaciones técnicas por conjunto de baterías

Characteristic	SU-50E	SU-50/50P	SU-50/100E	SU-50/100P
Nameplate Storage Capacity (kWh)	45	46	91	92
Usable Storage Capacity (kWh)	40.5	41.4	81.9	82.8
Maximum Charging Power (kW)	50	50	50	50
Maximum Discharging Power (kW)	50	50	50	50
Output Power (kW)	50	50	50	50
AC Output Voltage (Vac)	480, 60 Hz, 3P, 4 wire WYE interconnection			
Aux Power Input (Vac)	24 Vdc, 250W (max)			
Building Interface (optional)	Johnson Controls <i>Metasys</i> ® system, ASHRAE BACnet®			
System Monitoring	Local and Remote			
Operating Temperature	0 to +40°C (System derates if temperature is below +18°C or above +28°C) +32 to +104°F (System derates if temperature is below +64°F or above +82°F)			
Operating Humidity	5% - 85% Relative Humidity, Non-Condensing			
Dimensions (W x H x D)	1460 x 1880 x 585 mm 57.5 x 74 x 23 in	1460 x 1880 x 585 mm 57.5 x 74 x 23 in	1460 x 1880 x 670 mm 57.5 x 74 x 26 in	1695 x 2080 x 600 mm 66.7 x 82 x 23.6 in
Weight	925 kg 2040 lbs	888 kg 1958 lbs	1253 kg 2762 lbs	1211 kg 2670 lbs

Información para realizar un pedido

Battery Units	Description
L1000-BU-50E	47 kWh Energy Battery
L1000-BU-100E	91 kWh Energy Battery
L1000-BU-125E	137 kWh Energy Battery
L1000-BU-50P	46 kWh Power Battery
L1000-BU-100P	92 kWh Power Battery
System Units	Description
L1000-SU-50/50E	47 kWh Energy Battery with 50kW inverter
L1000-SU-50/100E	91 kWh Energy Battery with 50kW inverter
L1000-SU-50/50P	46 kWh Power Battery with 50kW inverter
L1000-SU-50/100P	92 kWh Power Battery with 50kW inverter
Power Conditioning System	Description
L1000-PCS-50	480 VAC, 50 kVA Bidirectional Inverter
L1000-PCS-125	480 VAC, 125 kVA Bidirectional Inverter
L1000-PCS-250	480 VAC, 250 kVA Bidirectional Inverter
L1000-PCS-500	480 VAC, 500 kVA Bidirectional Inverter
Remote Monitoring Units	Description
L1000-RMU-CELL	Cellular network remote monitoring interface
L1000-RMU-WIFI	Wireless Internet Monitoring Interface
L1000-RMU-ETH	1G Hardwired Ethernet Interface

Anexo G

Oportunidad de investigación en Durman Esquivel

FW: Proyecto solar de Durman Esquivel

Ronald Solano Castillo <ronald.solano.castillo@jci.com>

Mar 16/4/2019 16:09

Para: ronaldsolano96@hotmail.com <ronaldsolano96@hotmail.com>

12 archivos adjuntos (9 MB)

perfil de carga Demanda 3 Subestaciones.xls; perfil de carga Demanda extrusión.xls; perfil de carga Potencia 3 subestaciones.xls; perfil de carga Potencia extrusión.xls; A-14 planta de techos.pdf; Area planta de techos.pdf; A-10 fachadas.pdf; Pararrayos.pdf; lamina 04 fachadas.pdf; lamina 05 fachadas.pdf; EL-26_dist_general_tableros.dwg; Re: Planta Durman. ;

From: Jonathan Valverde [mailto:jvalverde@aliaxis-la.com]

Sent: Monday, April 15, 2019 8:21 PM

To: Ronald Solano Castillo <ronald.solano.castillo@jci.com>

Cc: Jonathan Valverde <jvalverde@aliaxis-la.com>

Subject: RE: Proyecto solar de Durman Esquivel

Hola Ronald, la idea que tenemos en mente analizar es el siguiente:

Requerimos techar las áreas de los parqueos zona 1 y zona 2 que se observan en la figura #1, este proyecto de techado queremos explorar (analizar) el aprovechamiento del área en sistema solar.

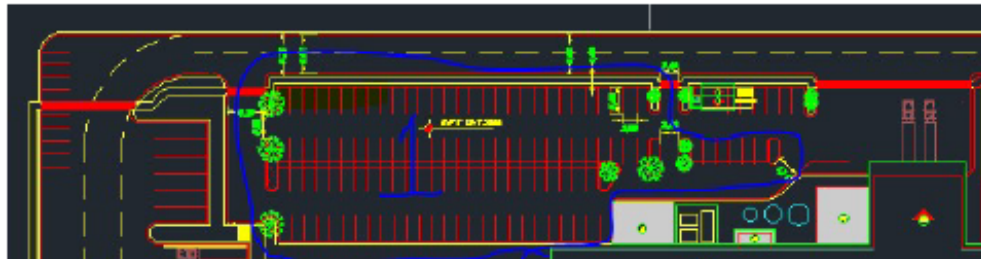
Esta energía de recuperación nos gustaría estudiar la factibilidad de inyectarla al área de servicio al cliente, donde opera un aire acondicionado de 20TON y el sistema de iluminación (tomas y red de datos).

De necesitar más área para sostener esta carga podemos utilizar la zona de techos del edificio principal.

Adjunto fachadas, lamina de techos y lamina de la planta para que puedas analizar las opciones.

Éxito con el diagnostico...

Figura #1

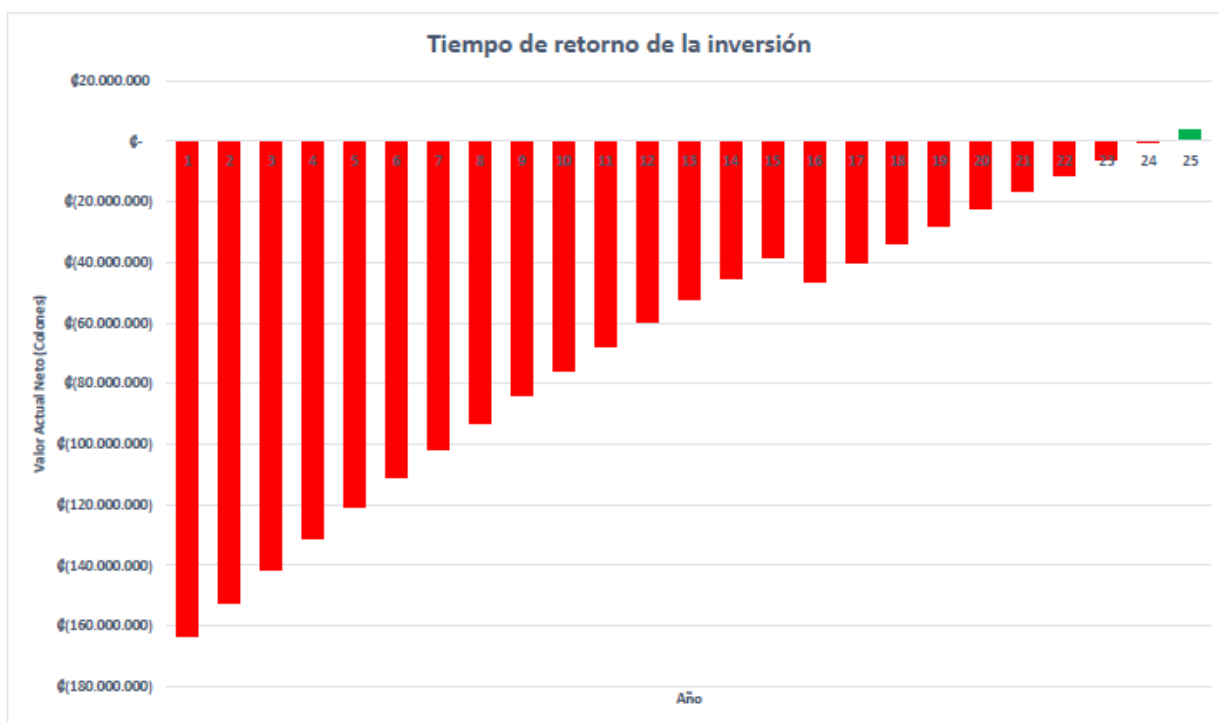


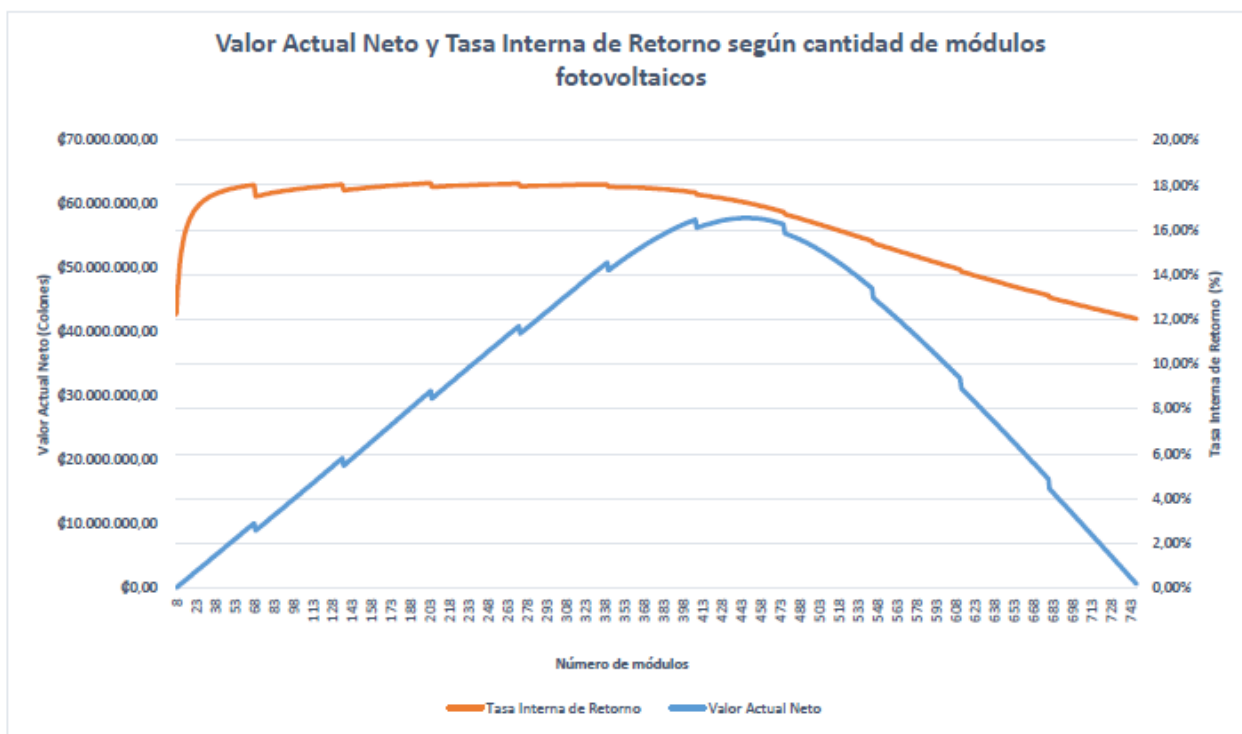
Anexo H

Verificación de confiabilidad de resultados de la herramienta diseñada por Esteban Alfaro.

Datos financieros del proyecto	Valor
Valor Actual Neto	₡ 3.965.507
Tasa Interna de Retorno	12,24%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	24,01

Módulos , inversores y configuración de las cadenas	Valor
Cantidad de módulos	733,00
Cantidad de inversores	11,00
Cantidad máxima de módulos por cadena	17,00
Cantidad máxima de cadenas por MPPT	2,00





Como se observa en las imágenes anteriores, el tiempo de recuperación, cantidad de inversores y valor actual neto calculados con la segunda herramienta de Excel propuesta, son muy similares a los resultados de la primera herramienta de Excel la cual es usada con propósitos laborales por lo que da seguridad a la hora de utilizarla. Determinándose así que las dos herramientas de Excel son confiables y que definitivamente la primera propuesta no es factible.

Anexo I

Tabulación de datos obtenidos del instrumento de medición de energía.

J	A	B	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AV	AX	AY	AZ	BA	BB	BC
hour_index	timestamp	Gen KWh	Consumo Chill	Consumo Oficina	Consumo Total	Diferencia KWh		valle sin sistema	punta sin sistema	Valle 6-10 y 12:30-5:30	Punta 10-12:30 y 5:30-8					
1	1	1/1/1990 00:00														
2	2	1/1/1990 01:00														
3	3	1/1/1990 02:00														
4	4	1/1/1990 03:00														
5	5	1/1/1990 04:00														
6	6	1/1/1990 05:00														
7	7	1/1/1990 06:00	36,191	2,0787666	19,49747134	21,57623794	-14,6151566									
8	8	1/1/1990 07:00	95,848	3,786418133	35,51412603	39,30054416	-56,5475808		564,2600239	254,6367344	16,57699675					
9	9	1/1/1990 08:00	142,1	7,015559533	65,80136072	72,81692025	-69,280736									
10	10	1/1/1990 09:00	173,57	8,611014533	80,7656853	89,37669983	-84,1897377									
11	11	1/1/1990 10:00	189,09	9,687508133	90,86249131	100,5499994	-88,5355787									
12	12	1/1/1990 11:00	191,57	9,975540333	93,56404499	103,5395853	-88,0289615									
13	13	1/1/1990 12:00	183,77	9,7399488	91,35435048	101,0942993	-82,6803413									
14	14	1/1/1990 13:00	163,47	9,3568528	87,75928465	97,11533745	-66,3496876									
15	15	1/1/1990 14:00	127,64	7,496915133	70,31616147	77,81307661	-49,8226578									
16	16	1/1/1990 15:00	81,487	6,557432733	61,50443092	68,06186365	-13,4254645									
17	17	1/1/1990 16:00	31,075	4,5910016	43,0605928	47,6515944	16,57699675									
18	18	1/1/1990 17:00	0,0538	0	0	0										
19	19	1/1/1990 18:00														
20	20	1/1/1990 19:00														
21	21	1/1/1990 20:00														
22	22	1/1/1990 21:00														
23	23	1/1/1990 22:00														
24	24	1/1/1990 23:00														
25	25	2/1/1990 00:00														
26	26	2/1/1990 01:00														
27	27	2/1/1990 02:00														
28	28	2/1/1990 03:00														
29	29	2/1/1990 04:00														
30	30	2/1/1990 05:00														
31	31	2/1/1990 06:00	37,788	2,0787666	19,49747134	21,57623794	-16,211348		564,2600239	254,6367344	14,4132155					
32	32	2/1/1990 07:00	101,09	3,786418133	35,51412603	39,30054416	-61,7899324									
33	33	2/1/1990 08:00	149,34	7,015559533	65,80136072	72,81692025	-76,5264704									
34	34	2/1/1990 09:00	181,17	8,611014533	80,7656853	89,37669983	-81,7915189									
35	35	2/1/1990 10:00	195,9	9,687508133	90,86249131	100,5499994	-95,3462349									
36	36	2/1/1990 11:00														