

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL
DE LAS AMÉRICAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**ANÁLISIS DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DEDICADO A LA
ILUMINACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
PANELES FOTOVOLTAICOS UNA EMPRESA
ELECTROMECAÁNICA**

AUTOR: JORGE ARTURO SALAS CALDERÓN

TUTOR: MASTER BILLY RETANA PEÑA

SEDE ARANJUEZ, DICEIMBRE, 2018

Contenido

Tablas	11
Figuras	12
Dedicatoria y agradecimiento	15
Resumen.....	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	17
Problema	18
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos.....	19
Antecedentes.....	20
Proyecciones.....	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
Energía solar	24
Radiación	24
Composiciones de la radiación	25
Energía solar fotovoltaica.....	27
Efecto fotovoltaico.....	27
La célula fotovoltaica	28
Influencia de la radiación sobre célula fotovoltaica	29
Paneles fotovoltaicos	29
Características eléctricas de los paneles solares	30
Tipos de paneles fotovoltaicos	31
Partes necesarias para la conexión de paneles	34
Diferencias entre el inversor y microinversor.....	38
Posibles disposiciones del generador fotovoltaico con base en el sistema de inversores	40
Estructuras para los paneles solares	41
Cálculos para sistemas fotovoltaicos	44
Energía generada por un panel solar	44
Número de paneles.....	45
Potencia generada por paneles solares	45
Generación distribuida.....	45
AR-NT-POASEN (capítulo XII)	47

Lámparas fluorescentes	49
Ventajas de las bombillas fluorescentes de bajo consumo	50
Lámpara LED	50
Ventajas de las bombillas LED	51
Diseño de iluminación con base en el método de los lúmenes.....	51
Factores necesarios para el método de los lúmenes	52
Flujo luminoso (ϕ)	52
Intensidad luminosa (I) (para una fuente puntual)	54
Iluminancia (E)	55
Luminancia (L)	56
Coeficiente de utilización	57
Formulas del método de los lúmenes	57
Cálculo del flujo luminoso total necesario	58
Cálculo del número de luminarias	58
Cálculo del índice del local (k).....	59
Cálculo de la colocación de las luminarias.....	59
Comprobación de los resultados	61
Metodología para evaluar rentabilidad de sistemas fotovoltaicos	62
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	67
Enfoque de la investigación.....	68
Método de la investigación	68
Fuentes de información	69
Variables o unidades de análisis.....	69
Definición conceptual.....	70
Definición operacional	70
Definición instrumental.....	70
Instrumentos	71
Proceso para la recolección y análisis de datos.....	71
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
Condiciones iniciales de la empresa	74
Descripción del diseño	74
Diseño fotovoltaico	76
Información recolectada para el análisis del sistema fotovoltaico.....	76

	10
Selección del panel solar	79
Caso 1	80
Cálculo del número de paneles.....	80
Colocación de los paneles en el tejado de la empresa.....	85
Selección de inversor.....	86
Caso 2	86
Cálculo del número de paneles solares.....	86
Colocación de los paneles en el tejado de la empresa.....	87
Selección del microinversor.....	87
Caso 3	87
Selección de inversor.....	90
Caso 4	90
Cálculo del número de paneles solares.....	90
Colocación de los paneles en el tejado de la empresa.....	90
Selección del microinversor.....	90
Análisis financiero para diseño fotovoltaico.....	91
Análisis financiero del diseño fotovoltaico, caso 1	91
Caso 2	95
Caso 3	99
Caso 4	103
Diagrama unifilar.....	105
Diseño de iluminación.....	108
Condiciones iniciales de iluminación.....	108
Lámparas seleccionadas.....	109
Para el caso 1:	110
Para el caso 2:	110
Método de los lúmenes.....	111
Dimensiones del recinto.....	111
Nivel de iluminación media (E m)	112
Identificar el tipo de lámpara y luminaria por utilizar.....	113
Altura de suspensión.....	113
Cálculo del coeficiente de utilización	113
Coeficiente de mantenimiento	115

	11
Flujo luminoso total necesario.....	116
Numero de luminarias.....	116
Análisis financiero	119
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
CAPÍTULO VI: PROPUESTA	127
Diseño fotovoltaico.....	128
Colocación de los paneles en el tejado de la empresa.....	129
Selección de inversor o microinversor	129
Análisis financiero para los paneles solares	129
Diagrama unifilar.....	132
REFERENCIAS	137
APÉNDICES	139

Tablas

Tabla 1. Consumo energético de la empresa. Periodo oct. 17-set. 18	76
Tabla 2. Horas solares pico en el año 2017	78
Tabla 3. Potencia generada por mes de sistema de paneles solares con potencia de 8,7 kWh	82
Tabla 4. Generación fotovoltaica con sistema de 1,95 kWh y su relación con el consumo de la empresa.....	85
Tabla 5. Análisis de consumo energético en el periodo de un año.....	92
Tabla 6. Tabla resumen de información importante	93
Tabla 7. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos.	94
Tabla 8. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos caso 2.....	97
Tabla 9. Análisis de consumo energético en el periodo de un año, caso 3	99
Tabla 10. Tabla resumen de datos para caso 3	100
Tabla 11. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 4.....	104
Tabla 8. Costo de iluminación para condiciones iniciales.	109
Tabla 9. Modelos de tecnologías de fluorescentes compactas por utilizar	110

Tabla 10. Modelos de tecnologías de diodo emisor luz por utilizar	110
Tabla 11. Ejemplos de coeficientes de reflexión	114
Tabla 12. Método de lúmenes para cálculo de las luminarias con lámparas compactas fluorescentes	118
Tabla 13. Método de lúmenes para cálculo de las luminarias con lámparas diodo emisor de luz.....	118
Tabla 14. Costo de propuestas de iluminación	119
Tabla 15. Costo de iluminación para propuesta de tecnologías CFL	120
Tabla 16. Costo de iluminación para propuesta de tecnologías LED	121

Figuras

Figura 1. Representación visual del flujo luminoso	53
Figura 2. Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.	54
Figura 3. Representación visual de iluminancia.	55
Figura 4. Representación visual de luminancia.	56
Figura 5. Fórmulas para el cálculo del índice del local.	59
Figura 6. Ejemplo de la ubicación de las luminarias	60
Figura 7. Representación de la distancia entre luminarias	60
Figura 8. Tabla de distancias para tipos de luminarias.	61
Figura 9: Parámetros del flujo de caja	64
Figura 10. Tarifas de acceso a la red.....	66
Figura 11. Consumo eléctrico de la empresa en los últimos seis meses del 2018.....	77
Figura 12. Horas solares pico para la empresa	79
Figura 13. Colocación de paneles al 100% del área permitida.....	88
Figura 14. Generación Fotovoltaica con sistema de 7.2 kWh y su relación al consumo de la empresa.....	89
Figura 15. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos	95
Figura 16. Tabla resumen de datos para el caso 2	96
Figura 17. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos caso 2.....	98

Figura 18. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 3.....	101
Figura 19. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 3.....	102
Figura 20. Tabla resumen de datos para caso 4.....	103
Figura 21. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 4.....	105
Figura 22. Diagrama de flujo.....	107
Figura 23. Dimensiones acotadas	111
Figura 24. Dimensiones por considerar	112
Figura 25. Valores de lux para oficinas de acuerdo con la norma Inteco INTE 31-08-06-2000	112
Figura 26. Factor de utilización.....	115
Figura 27. Diagrama de Flujo.....	133

Apéndices

Apéndice A. Imagen aérea de la ubicación de la empresa.	140
Apéndice B. Captura de pantalla de la información otorgada por la aplicación POWER de NASA.....	141
Apéndice C. Copia de factura de la empresa.....	142
Apéndice D. Desglose de tarifas de la CNFL.....	143
Apéndice E. Tarifas de acceso (TA) para distintas empresas.	143
Apéndice F. Tabla resumen de la facturación de la empresa.	144
Apéndice G. Costo de interconexión por medidor	144
Apéndice H. Ficha técnica de panel solar Canadian Solar 300W Mono 300MS (1)	145
Apéndice I. Ficha técnica de panel solar Canadian Solar 300W Mono 300MS (2).....	146
Apéndice J. Ficha técnica de inversor Schneider Conext SW 2,5 kW SW 2524 E (1)	147
Apéndice K. Ficha técnica de inversor Schneider Conext SW 2,5 kW SW 2524 E (2).....	148
Apéndice L. Representación de estructura por utilizar para los paneles.....	149
Apéndice M. Desglose de cotización pedida.....	150
Apéndice N. Captura de plano del techo de la empresa y su área de penumbra.	150
Apéndice O. BN Soluciones Eco Tecnología.....	151

Apéndice P. Imágenes de las oficinas de la empresa.....	152
Apéndice Q. CFL MINI-LINX SPIRAL 1520 lm, 25 W	153
Apéndice R. UL1515 2CFL D6.....	154
Apéndice S. UL 503 2/4200 LM 4KTL 2x2 D1 C/T.....	155
Apéndice T. LED A67 15W 1450 LM 6500K	156
Apéndice U. Cotización de iluminación	156
Apéndice V. Planta arquitectónica elaborada para la empresa (1).	157
Apéndice W. Planta arquitectónica elaborada para la empresa (2)	158
Apéndice X. Planta arquitectónica elaborada para la empresa (3)	159
Apéndice Y. Cotización de Micro Inversor para caso 2 y caso 4.....	160
Apéndice Z. Micro Inversor ChiliconPower 290W 240/208VAC 60/72 (1).....	160
Apéndice AA. Micro Inversor ChiliconPower 290W 240/208VAC 60/72 (2).....	161
Apéndice BB. SMA Sunny Boy 7.7kW 240/208VAC TL Inverter w/ DC Disconnect	162
Apéndice CC. Cotización del Inversor de 7.7 kW para el caso 3.....	163

Dedicatoria y agradecimiento

Dedico esta investigación a mis padres, Randall, Estrella y María, son la piedra angular de mi vida, sin ellos jamás hubiese llegado a este punto. Quiero agradecerles porque me enseñaron a perseverar en los momentos más difíciles de mi vida. Deseo felicitarlos por haberme hecho realizar y comprender el camino correcto; a través de sus enseñanzas aprendí lo que es ser una persona amable, honesta, justa, leal, tolerante y respetuosa; pero ante todo lo que más aprendí fue a ser humilde y agradecida. Gracias especialmente a mi padre por siempre apoyarme en mis proyectos y por enseñarme que nunca debemos rendirnos, no solo hasta cumplir las metas o asignaciones, sino ante los múltiples problemas de la vida. Gracias especialmente a mi madre por enseñarme tantas lecciones de vida desde que he sido un niño, no solo me ha enseñado valores morales, sino a ser un hombre correcto y respetable. Gracias especialmente por todo su amor y paciencia. Gracias a mi hermana María, por ayudarme a perseverar en momentos difíciles, por estar a mi lado todos estos años y por enseñarme que siempre tendré a alguien que me quiera.

Un agradecimiento especial a mi tutor Billy Retana Peña, por su alto grado de eficiencia, conocimiento y ante todo una excelente persona. Gracias por haber aceptado esta investigación y confiado en mí, permitiéndome que, bajo su tutela, lograra terminar un proceso de varios años de estudio académico.

Resumen

La presente investigación constituye de una guía para la implementación de un sistema de paneles solares y un diseño de iluminación para una empresa electromecánica ubicada en distrito de San Juan de Tibás, Costa Rica basándose en las condiciones necesarias y actuales de la empresa, sus consumos eléctricos en el periodo del 2017 al 2018 y tarifas reguladas.

En este proyecto se concentran seis diseños; primeramente cuatro diseños para paneles solares, estas bajo las mismas condiciones iniciales, con diferentes limitaciones, implementando diferentes equipos para su evaluación de uno como el ideal para la empresa electromecánica. Estos incluyendo su propio soporte mecánico para el anclaje de los paneles solares. Mediante la diferencia de equipos como inversores y microinversores, se determinara la opción más adecuada para la empresa.

A su vez la investigación posee otros dos diseños de iluminación, basados en la metodología de los lúmenes, para otorgar un diseño óptimo de iluminación para la empresa con una comparación del consumo energético dedicado a la iluminación y diferentes tecnologías de iluminación.

Este documento posee la información respecto a la realización de todos los cálculos necesarios para ambos diseños, como el número de paneles solares, cálculo de horas solares pico, determinación del flujo luminoso y cantidad de luminarias necesitadas. A su vez incluye un análisis financieros de cada propuesta en el que se establece su rentabilidad y tiempo de recuperación de la inversión inicial a realizar para determinar la mejor opción para la empresa.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances tecnológicos, en la actualidad existe la posibilidad de implementar paneles fotovoltaicos como fuente de energía renovable. La empresa por analizar, conforme el avance tecnológico, ha expandido e incrementado no solo la calidad del equipo y el servicio que son capaces de otorgar, sino también su cantidad y el nivel de consumo de equipos y áreas utilizados.

Esta empresa se llama Total Protection Systems S. A. Está en el distrito San Juan, del cantón de Tibás, en la provincia de San José, Costa Rica. Sus instalaciones se ubican 325 metros al oeste de la esquina suroeste del parque.

Esta compañía se dedica a la integración de sistemas *datacenter* y las infraestructuras de telecomunicaciones para empresas públicas y privadas.

En los últimos años, la empresa se ha encontrado con un alto consumo eléctrico y, por lo tanto, una alta facturación por ese servicio. Por ello, se desea identificar un diseño conveniente de paneles solares para lograr una disminución en la factura mensual eléctrica.

Problema

¿Cuál es el diseño electromecánico de sistemas fotovoltaicos más adecuado utilizando paneles solares para la empresa Total Protection Systems S. A., ubicada en el distrito de San Juan de Tibás, Costa Rica?

Objetivos

Objetivo general

Determinar el diseño electromecánico del sistema fotovoltaico más adecuado, utilizando paneles solares para la empresa Total Protection Systems S. A., ubicada en el distrito de San Juan de Tibás, San José, Costa Ric

Objetivos específicos

- Determinar las condiciones del sistema eléctrico existente y el consumo eléctrico actual de la empresa Total Protection Systems.
- Realizar una comparación de las condiciones encontradas y una propuesta para la inclusión de paneles solares.
- Realizar un diseño eléctrico del sistema de iluminación, comparando tecnologías LED con fluorescentes, para valorar un uso eficiente de la energía.
- Determinar el potencial en radiación y área de las instalaciones de la empresa para implementar un sistema fotovoltaico.
- Escoger la mejor opción para disminuir costos de energía entre un sistema LED con fotovoltaico y un sistema bombillas fluorescentes con fotovoltaico.

Antecedentes

Como primer antecedente, se puede encontrar el trabajo *Uso de la energía renovable en Costa Rica*, del 2004, hecho por Nandwania. Este habla sobre la campaña costarricense para promover el uso de fuentes renovables, a través de todo el país; el uso y función de varios sistemas de uso de energía solar descentralizados y, a su vez, menciona algunas de estas instalaciones de energía renovable, como los sistemas de calentadores y de calefacción de piscinas en varios lugares, como residencias estudiantiles de universidad, hoteles de la cadena Fiesta y en el sur de San Isidro del General.

También se habla allí sobre secadores para la deshidratación de frutas en Puriscal Puntarenas; se describe algunos sistemas de cocción solar de tipo de horno convencional y horno híbrido solar; además de destiladores solares que son utilizados para la separación de distintas sustancias que de otra manera serían desechadas como contaminantes del ambiente; se habla de sistemas de transformación de energía solar a electricidad y de varios sistemas, ejemplificando algunos usos y partes como baterías, reguladores e inversores para la iluminación.

Este trabajo sirve de guía para conocer algunas funciones que se le pueden dar a la energía solar, aparte de su transformación como energía eléctrica. También sirve como guía para el conocimiento de algunas de las partes utilizadas en paneles fotovoltaicos.

En segundo término, está el texto de Andrés Porras Contreras: *Viabilidad financiera para la venta de bombillos LED a clientes del sector residencial en el área de concesión de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S. A.*, realizado en el 2016. Ese trabajo posee como objetivo determinar la viabilidad financiera de la venta de bombillos LED, hablando de la industria de sistemas de iluminación en gran detalle, como son los conceptos, evolución y tipos de sistemas de iluminación.

Algunos tipos de lámparas, como las incandescentes (halógenas y no halógenas), lámparas de descarga (vapor de mercurio a baja y a alta presión), las de vapor de sodio (a baja y alta presión) y lámparas LED se estudian en ese documento. También menciona usos y aplicaciones de las lámparas LED.

Incluye esa investigación una sección de fundamentos teóricos para el análisis de la viabilidad financiera del proyecto, así como un estudio del mercado que se vería afectado por

la implementación de lámparas LED y su deficiencia de cierto grado de dificultad en la adquisición de bombillos LED.

Este trabajo será utilizado para determinar los sistemas, parámetros y evaluaciones que se les darán a las bombillas LED y a las de bajo consumo para determinar, a través de la comparación, la bombilla superior. A su vez, se plantea la descripción y características de varios tipos de lámparas para su consideración en el tipo de análisis que se les debe dar a las bombillas deseadas para la implementación.

El tercer antecedente corresponde a un proyecto realizado para la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica (UCR), en el año 2015, financiado por la Fundación Costa Rica-Estados Unidos de América para la Cooperación (CRUSA), titulado “Análisis técnico-financiero de la generación distribuida en la CNFL”.

Este proyecto fue realizado por el ingeniero Gustavo Valverde (PhD), como coordinador, con los investigadores asociados José D. Lara (M.Sc.), Adolfo Lobo (MBA), José D. Rojas (PhD) y los investigadores asistentes Andrés Argüello y Catherine Montiel. En este trabajo se habla de la generación distribuida y su contexto en Costa Rica, de horarios de producción de energía y potencia de sistemas fotovoltaicos.

También se incluye allí todo un análisis de rentabilidad desde el punto de vista del cliente, con una extensa metodología para la evaluación de la rentabilidad de sistemas fotovoltaicos, un análisis económico de la generación distribuida fotovoltaica para el autoconsumo y un estimado de demanda máxima para los sistemas de generación distribuida por tipo de cliente.

Este trabajo ayuda a ejemplificar y proyectar el tipo de análisis de rentabilidad que se les debe dar a los paneles fotovoltaicos, parámetros como barreras técnicas, comerciales y regulatorias, además de ciertos factores que conllevan a las variaciones de consumo mensuales, tarifas y costo de sistemas que se da para paneles fotovoltaicos.

El cuarto antecedente de importancia es el trabajo de Herson Fernández Paniagua, titulado “Diseño eléctrico del sistema de iluminación y servicios generales para estacionamientos y áreas de servicio de un edificio de oficinas”, realizado como tesis para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Electromecánica en 2018.

Debido a que este consiste en la realización de un diseño eléctrico de un sistema de iluminación, incluye una extensa lista de la realización de un diseño de iluminación mediante

la metodología de los lúmenes. Este explica su proceso de cálculo y por ende servirá de guía para la realización de esta investigación.

Proyecciones

Se espera, gracias a esta investigación, entregar a la empresa Total Protection System S. A. dos propuestas para la inclusión de sistemas fotovoltaicos, con la posibilidad de utilizar dos tecnologías diferentes: una con lámparas LED y otra con lámparas fluorescentes compactas.

Toda esta información se compilará en un disco compacto con todos los parámetros calculados, planos y costos, entre otros, para estos sistemas eléctricos, con la idea de implementar paneles fotovoltaicos para disminuir el consumo eléctrico en la empresa. Para esto, se analizarán los siguientes temas para la realización del diseño.

- Sistemas eléctricos: guías, códigos y leyes para un correcto diseño
- Parámetros de eficiencia energética para sistemas eléctricos
- Energía solar: función, tipos, tecnologías y usos
- Paneles fotovoltaicos solares: fabricación, tecnología y avances, diseños y condiciones para un correcto montaje

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Dado que el enfoque principal de este análisis estará dado en los paneles fotovoltaicos y el análisis de las bombillas de bajo consumo contra las bombillas LED, será esencial el destacar algunos temas y definirlos para que estos funcionen como el eje conceptual sobre el cual apoyar la tesis. (falta la referencia bibliográfica, o fuente)

Energía solar

Esta corresponde a la energía que se capta proveniente del sol. Según Navarro (2010), la energía solar se define como:

Aquella energía que se obtiene mediante la captura de la luz y el calor que emite el sol. Esa energía que emana del sol, los seres humanos la podemos convertir en energía útil, es decir, ya sea para calentar algo o bien para producir electricidad, entre las aplicaciones más comunes y relevantes que se realizan con ella.

La energía solar se puede aprovechar utilizando sistemas fotovoltaicos que transforman esta energía en electricidad. Esto se realiza a través de módulos fotovoltaicos, los cuales reciben la radiación solar y la transforman en energía eléctrica mediante el denominado efecto fotovoltaico.

Hay que tener en cuenta que la luz solar está formada por partículas energéticas o fotones que se corresponden con las diferentes longitudes de onda de la radiación solar. Los fotones son absorbidos por una célula fotovoltaica y de ella la energía se transfiere a un circuito eléctrico en forma de electricidad.

Radiación

De acuerdo con Perpiñán (2018), la radiación corresponde a:

La radiación emitida por el Sol atraviesa el espacio vacío en todas direcciones. No sufre pérdidas apreciables por interacción con medios materiales. Sin embargo, la irradiancia solar, definida como la densidad de flujo radiante solar, es atenuada de acuerdo con el cuadrado de la distancia. Parte de esta irradiancia solar es interceptada por el planeta Tierra.

Dada la relación entre la distancia con el Sol y el tamaño de nuestro planeta, es razonable asumir que su valor es constante en toda la superficie exterior de nuestra atmósfera. Se define la constante solar, B_0 , como el valor de irradiancia solar incidente en un plano normal al vector Sol-Tierra en el límite superior de la atmósfera terrestre.

Diferentes campañas de medidas han obtenido valores diferentes para la constante solar, pero se acepta como representativo el valor promedio de $B_0 = 1367 \text{ W m}^2$ propuesto por la Organización Meteorológica Mundial. (p. 25)

La irradiancia posee la unidad de medida en el S.I. de vatios por metro cuadrado (W/m^2) y corresponde a la potencia, mientras que la radiación corresponde a un tiempo determinado de irradiancia, por lo cual sus unidades son el vatio-hora por metro cuadrado (Wh/m^2).

Composiciones de la radiación

La radiación suele ser descompuesta conforme viaja en diferentes medios. Perpiñán (2018) afirma que:

A su paso por la atmósfera, la radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que alteran sus características.

La reflexión en las nubes disminuye la radiación incidente en la superficie terrestre mientras que la absorción por vapor de agua, ozono y CO_2 produce una modificación de las características espectrales de la radiación. Además, la dispersión por partículas modifica la distribución espacial de la radiación.

Para el cálculo de la irradiancia solar que finalmente incide en una superficie arbitraria localizada en corteza terrestre será útil distinguir tres contribuciones diferentes.

Estas contribuciones, comúnmente denominadas componentes, son:

- Radiación directa, B: representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol.

- Radiación difusa, D: cuantifica la radiación procedente de todo el cielo salvo del Sol, y por tanto incluye todos los rayos dispersados por la atmósfera según los procesos descritos. Es una radiación anisotrópica, cuyo valor depende de la zona celeste de procedencia. Más aún, dado que las propiedades de la atmósfera varían de forma aleatoria con el tiempo, la radiación difusa deberá ser estudiada como un proceso estocástico.
- Radiación del albedo, R o AL: es aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo. Habitualmente supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada.

La suma de estas tres componentes constituye la denominada irradiancia global: $G = B + D + R$

Perpiñán también asegura que “es importante destacar que la reflexión de la radiación solar en las nubes decrece la radiación incidente. También cabe destacar las contribuciones diferentes de la irradiancia solar como la radiación directa, difusa y del albedo” (p. 26).

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una:

Transformación que se lleva a cabo en los elementos semiconductores que integran los paneles solares fotovoltaicos. La electricidad puede ser utilizada en forma directa, almacenada en baterías, e incluso se puede inyectar en la red de distribución eléctrica. (Martínez, 2012, p. 18)

Esta transformación en específico se conoce como el efecto fotovoltaico. La forma de captura de la energía eléctrica para el análisis por realizar, ya sea de forma directa, conectada a la red de distribución o en baterías, será definido en el desarrollo.

Efecto fotovoltaico

Conforme lo plantea Barrera (2010), el efecto fotovoltaico es definido de la siguiente manera:

El efecto fotovoltaico convierte la energía luminosa que transportan los fotones de luz en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despididos del material semiconductor a través de un circuito exterior.

La luz del sol está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estas partículas energéticas son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar.

Al incidir los fotones sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a su través. Los fotones absorbidos son los que transfieren su energía a los electrones de los átomos de las células.

Para producir una corriente eléctrica útil hay que lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que estos vuelvan a recombinarse con los “huecos”. Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos.

Estos elementos que alteran significativamente las propiedades intrínsecas de los semiconductores se denominan dopantes y el proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado.

Al material semiconductor se le ha de realizar un tratamiento especial, para que la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones de dicho material no se convierta en calor inútil, tras unos cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica.

Por ejemplo, un dopante adecuado para el silicio es el boro, el cual tiene un electrón de enlace menos que el silicio y, por lo tanto, cada átomo de boro puede unirse con solo tres átomos de silicio, dejando un hueco, dando lugar a la estructura denominada semiconductor de tipo P (positivo). (pp. 13-14)

La célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica tiene como objetivo capturar la energía solar para su transformación en electricidad. Mateo (2015) asevera que:

Una célula solar o célula fotovoltaica es un componente electrónico capaz de transformar parte de la energía solar que recibe en energía eléctrica. Aproximadamente, su vida útil funcionando al máximo rendimiento es de unos treinta años.

Está constituida por materiales semiconductores (principalmente silicio), formando una unión PN. La capa superior de la célula expuesta a la radiación solar es la capa N, mientras que la capa inferior situada en la zona de oscuridad es la capa P. La célula fotovoltaica absorbe fotones de luz y emite electrones.

Para un valor de irradiancia solar de 1000 W/m^2 una célula fotovoltaica genera una tensión de circuito abierto de unos 0,6 V aproximadamente y una intensidad en cortocircuito que depende de su área de exposición a la radiación solar. En general, para un área de exposición de unos 100 cm^2 la intensidad suele ser de unos 3 A. (p. 56)

Influencia de la radiación sobre célula fotovoltaica

Los cambios en flujos de irradiación afectan la intensidad en corto circuito de una célula fotovoltaica. De acuerdo con Mateo (2015):

Las condiciones estándar de medida establecen una irradiancia solar de 1000 W/m². Sin embargo, durante su funcionamiento normal, la radiación incidente sobre la célula es variable a lo largo de un día, así como entre los diversos días del año.

El efecto de la irradiancia solar sobre la tensión eléctrica de circuito abierto de una célula fotovoltaica tiene mucho menos peso que sobre la intensidad en cortocircuito. El valor de la intensidad en cortocircuito ($I_{SC, G}$) para una temperatura de trabajo de la célula de 25° C es proporcional a la irradiancia solar recibida de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I_{SC, G} = I_{SC, STC} * \frac{G}{G_{STC}}$$

Donde:

- $I_{SC, G}$ es la intensidad en cortocircuito para una irradiancia solar G , en A.
- $I_{SC, STC}$ es la intensidad en cortocircuito en condiciones estándar de medida, en A.
- G es la irradiancia solar recibida por la célula, en W/m².
- G_{STC} es la irradiancia solar en condiciones estándar de medida, en W/m².

(p. 62)

Paneles fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico es la unión de múltiples células fotovoltaicas. Barrera (2010) nos dice:

Una sola célula no es capaz de propiciar una tensión que pueda utilizarse en la práctica, solo genera una tensión de algunas décimas de voltio (usualmente, alrededor de medio voltio para las células de silicio), y una potencia máxima de uno o dos vatios.

Para obtener tensiones y potencias adecuadas es preciso conectar entre sí en serie un determinado número de células para producir tensiones de 6, 12 o 24 voltios, aceptadas en la mayor parte de las aplicaciones. A este conjunto de células interconectadas, ensambladas y protegidas contra los agentes externos, se le denomina panel o módulo fotovoltaico.

El proceso de conexión de células es automático, efectuándose mediante soldaduras especiales que unen la cara frontal de una célula con la cara posterior de la adyacente. Se necesitan entre 30 y 40 células, según las características de las mismas, para producir un panel de 12 voltios nominales. Una vez terminadas las interconexiones eléctricas, las células se encapsulan en una estructura tipo «sandwich», que varía de un fabricante a otro. (p. 21)

Características eléctricas de los paneles solares

Las características eléctricas de los paneles solares se pueden encontrar usualmente en la ficha eléctrica del panel. Estos son parámetros que clasifican el panel eléctricamente. *Características eléctricas de los paneles solares* (s.f.) establece que:

Diferentes parámetros que vienen dados en la ficha técnica:

- Intensidad de cortocircuito (I_{cc} o I_{sc}): es aquella que se produce a tensión 0 voltios, por lo que puede ser medida directamente en bornes mediante un amperímetro. Su valor variará en función de las condiciones atmosféricas de medida.
- Tensión de circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}): es la tensión máxima del panel, se puede medir al no tener ninguna carga conectada, directamente con un voltímetro, su valor variará en función de las condiciones atmosféricas.
- Potencia máxima (P_{max}), medida en vatios pico (W_p): es la potencia máxima que puede suministrar el panel, es el punto donde el producto intensidad y tensión es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}): es la corriente producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.

- Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}): es la tensión producida cuando la potencia es máxima, bajo unas condiciones estándar de medida.
- Eficiencia (%): este parámetro nos define la eficiencia de conversión (η), la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica.
- Rendimiento o eficiencia (W_p / W_r): donde W_r es la potencia de radiación incidente sobre el panel solar.
- Tolerancia (%): en el proceso de fabricación no todos los paneles solares son idénticos, presentan una pequeña dispersión. En general, los fabricantes garantizan que la potencia del módulo P^* está dentro de una banda; 63%, 65, 0+3%. También lo ideal es buscar paneles con tolerancias sólo positivas, así el fabricante nos garantiza cómo mínimo la potencia del panel declarada en la ficha de características.
- TONC ($^{\circ}C$), temperatura nominal de operación de la célula: es la temperatura que alcanzan las células cuando se le somete a una irradiancia de 800W/m², temperatura ambiente de 20 $^{\circ}C$, una velocidad del viento de 1 m/s y una distribución espectral AM 1,5.

Tipos de paneles fotovoltaicos

Los diferentes tipos de paneles son clasificados por sus diferentes tipos de células fotovoltaicas. SFE Solar Logistic SL (2017) concluye:

Con base en lo dicho, las cosas no han cambiado demasiado en los últimos 10-15 años, estamos en 2017 y sigue habiendo tres tecnologías que destacan sobre el resto y que son las que se instalan en el 90% de los sistemas fotovoltaicos actuales. Hablamos de los módulos solares monocristalinas, policristalinas y amorfas.

#1 – Paneles monocristalinos:

Como su propio nombre dice, las placas solares monocristalinas están compuestas por células monocristalinas. Son ese tipo de célula que, a simple vista, podemos diferencia por su color “negro” y con las esquinas recortadas con un chaflán (resultado del corte de la célula).

El modo más común de fabricación de células de silicio monocristalino (sc-Si) consiste en partir de un lingote de un único cristal de silicio, obtenido por los métodos de Czochralski (Cz) o zona flotante (FZ), y cortarlo en obleas que constituyen el sustrato sobre el que tendrá lugar todo el proceso restante (unión “p-n”, metalización, etc.).

Además de esto, los paneles solares monocristalinos son los que mayor eficiencia tienen de entre todos los disponibles en el sector.

#2 – Módulos policristalinos:

Al igual que comentamos con los modelos monocristalinos, los paneles solares policristalinos están compuestos, en este caso, por células policristalinas. Podemos diferenciarlos por su color “azulado” y **no** poseen el chaflán en las esquinas como los monocristalinos.

Las células de silicio policristalino (mc-Si) también utilizan obleas de silicio como sustrato, pero a diferencia de las monocristalinas, estas proceden del corte de un bloque de silicio que se ha dejado solidificar lentamente en un crisol y que está formado por muchos pequeños cristales de silicio. Este tipo de elaboración es menos costoso que el anterior, pero reduce considerablemente la eficiencia de las células.

Los avances más recientes, como cortadoras de obleas con diamante utilizadas por fabricantes como SolarWorld, han supuesto una mejora en la eficiencia de utilización del silicio (se desperdicia menos cantidad de material) y permiten obtener obleas de menos 200 micras de espesor, aunque este espesor está cerca de su límite físico, pues debemos tener en cuenta que la célula debe ser lo suficientemente resistente para no romperse en su posterior manipulación para la fabricación del panel.

Además de esto, se han logrado mejorar las pérdidas por reflexión y una mejor captación de la luz en el interior de la célula mediante técnicas de texturizado y tratados antirreflectantes.

(...) Se han practicado sobre la célula una serie de microperforaciones en forma de pirámide invertida que lo que hacen es ayudar a mejorar la captación de la luz solar de la célula y, en consecuencia, del panel solar.

(...) La parrilla conductora que forma el contacto frontal de la célula suele consistir en una serie de “dedos” que están en contacto directo con el semiconductor y que se conectan entre sí mediante unas tiras metálicas (lo que suele llamarse *Bus Bar*).

El diseño de estos “dedos” y los *Bus Bar* que cubren la célula afecta a la eficiencia de dos maneras:

Por un lado, implica un sombreado que impide que parte de la radiación disponible alcance el interior de la célula y, por otro lado, introduce una resistencia, debida a la unión metal-semiconductor y a la propia resistencia del material empleado. En este sentido, se ha evolucionado desde la técnica convencional del serigrafiado hasta la de contacto enterrado mediante láser, consiguiendo mejorar en un 25% la eficiencia de la célula, sin apenas elevar su coste de fabricación.

Tanto las células mono como policristalinas descritas tienen unas características eléctricas aproximadas de 0,5 voltios en circuito abierto (*Voc*) y unos 3 amperios en cortocircuito (la intensidad es directamente proporcional al área de la célula).

Como es lógico, una vez obtenidas las células, se ensamblan y pasan un proceso de producción hasta dar lugar a lo que acabamos viendo en nuestra instalación fotovoltaica, que son los paneles solares monocristalinos o policristalinos, según el tipo de célula.

#3 – Paneles silicio amorfo (capa fina):

Aunque los tipos de paneles más habituales son los descritos, mono y policristalinos, no debemos olvidar también las placas solares de silicio amorfo, o llamadas también de “capa fina”.

El funcionamiento de una célula solar de capa fina de silicio amorfo es el mismo que las cristalinas, pero su elaboración es muy diferente. Los aspectos característicos de esta tecnología son:

- Proceso de fabricación sencillo y de fácil automatización.
- Necesidad de poco material activo y reducción del gasto energético y del coste.
- Facilidad para realizar módulos flexibles y con óptima eficiencia cuántica en un amplio rango del espectro.

Las células de silicio amorfo han sido las primeras células de capa fina que se comenzaron a comercializar; sin embargo, debido a la bajada de precios

experimentado por los paneles solares cristalinos, han ido perdiendo posiciones en el mercado y actualmente su implantación es muy reducida.

La tecnología del silicio amorfo a-Si tiene una eficiencia considerablemente menor que las basadas en silicio cristalino, debido principalmente a la mala calidad del silicio utilizado, cuya estructura interna dificulta la recolección de los portadores fotogenerados. Sin embargo, son especialmente adecuadas para uso en interiores, en atmósferas con mucho polvo, etc.

(...) Las placas solares de silicio amorfo no consisten en la unión de células individuales como en los paneles solares cristalinos, sino en una lámina cortada a medida en la que se observan unas tiras delgadas que separan las células, creadas y conectadas entre sí, durante la elaboración del propio módulo, cuyo enmarcado facilita el manejo y el montaje del mismo.

El rango de tensiones también es más amplio que en los de silicio cristalino, abarcando desde unos pocos voltios hasta decenas de voltios y que los hace interesantes también para sistemas de bombeo solar.

Comercialmente, las placas solares se clasifican por su potencia pico (W_p), que es la potencia que pueden generar en condiciones estándar de medida (STC). Dicho de otro modo, es la potencia que viene indicada en la ficha técnica del producto. Otro de los datos que se suelen mirar es la tensión nominal, que nos va a indicar si el panel va a ser adecuado para sistemas aislados de 12V, de 24V, o bien para conexión a red y autoconsumo.

Estos son, a grandes rasgos, los tipos de paneles solares que podemos encontrar actualmente en el mercado solar fotovoltaico. Hay más tipos de paneles, e incluso variaciones en las tecnologías descritas, como serían las Mono PERC o la HIT de Panasonic Sanyo, ambas de mayor eficiencia que el resto; sin embargo, hemos preferido dejarlas para futuros artículos.

Partes necesarias para la conexión de paneles

Para la conexión de paneles fotovoltaicos, es necesario conocer las diferentes partes e instalaciones que se le dan a estos componentes. Delta Volt SAC (s.f.) indica:

Baterías

Baterías a base de plomo requieren un sitio fresco para mantener en lo posible una temperatura entre 20° y 25 °C. Una temperatura menor (pero no debajo del punto de congelación) no daña la batería, solamente reduce la capacidad.

Una temperatura mayor reduce fuertemente su vida (por ejemplo, a 35 °C, la vida ya es la mitad). Las baterías se deben instalar en un lugar ventilado, porque todas las baterías a base de plomo siempre producen hidrógeno, un gas explosivo. La causa es el proceso químico que ocurre mientras la carga y descarga.

En baterías tipos VRLA (las de gel y AGM) se combinan los gases internamente y, si no hay una sobrecarga, los gases no pueden salir. Ninguna batería es completamente sellada, tienen válvulas para el caso de una sobrecarga. Las baterías líquidas, selladas o no, no tienen esta recombinación y la cantidad de gases que escapan puede ser mucho mayor.

Las baterías cargadas tienen mucha energía, suficiente para producir fuego. Es de suma importancia evitar cualquier corto circuito. Por ejemplo, una llave puesta por error sobre los polos, o un niño jugando sin saber, pueden causar terribles accidentes. Las conexiones de las baterías deben llevar una grasa especial (alternativamente vaselina), para evitar una sulfatización y corrosión de los polos.

Fusibles DC

Para asegurar el sistema contra sobrecargas y cortes eléctricos, siempre se coloca fusibles entre baterías y controlador/consumidores. Su capacidad se determina tomando la corriente máxima, más un 15% a 20%.

Existen fusibles para altas corrientes tipo DC, pero estos a veces son difíciles de conseguir en el mercado local. Las alternativas son los fusibles que se usan para amplificadores de sonido en carros, o fusibles que se usan en la marina.

Se puede instalar fusibles comunes para el uso en sistemas AC, pero hay que estar consciente de que estos fusibles termomagnéticos disparan bajo una corriente DC con diferentes valores. Los buenos fabricantes dan los valores para DC en las especificaciones técnicas.

Anotación: Aunque fusibles o *breakers* modernos se pueden usar ocasionalmente como interruptor, no aguantan una alta cantidad de encendidos y apagados. La causa es el material de los contactos que es optimizado para reducir pérdidas. Si existe una necesidad de conectar y desconectar las baterías frecuentemente, hay que instalar un interruptor aparte.

El controlador

El controlador convierte la corriente DC de los paneles a una corriente apta para las baterías. Las protege contra una sobrecarga y una descarga excesiva. Sin esta protección, las baterías pueden calentarse más de lo normal, pierden el líquido y producen gases explosivos en exceso: pueden explotar.

Una sobrecarga además reduce la vida. Al otro lado, es importante que las baterías se carguen por completo para evitar una sulfatización rápida. Diferentes baterías requieren diferentes formas de cargarlas.

La tensión de carga (voltios) y la corriente (amperios) varían y depende de:

- Estado de carga de las baterías
- Tipo de batería: baterías líquidas (selladas o no) y de AGM requieren un voltaje diferente que baterías de gel
- Temperatura: mientras más caliente el ambiente, más se debe reducir el voltaje para evitar la gasificación
- Edad de las baterías

Controladores buenos se ajustan a diferentes tipos de baterías y tienen un sensor de temperatura. Estos factores pueden hacer una diferencia de varios años sobre la vida de su batería. Un buen controlador desconecta de los consumidores, una vez que la carga de la batería baja a cierto nivel. Por eso, en instalaciones normales, la salida de electricidad para el uso de la electricidad es desde el controlador.

A veces, por ejemplo, si se conecta un inversor que supera el límite la corriente del controlador, se puede conectar los consumidores directamente a la batería. En este caso, hay que asegurarse de que la batería se desconecta en forma automática, cuando llega a su límite de descarga. Buenos inversores tienen este control incorporado, pero

los baratos no. Hemos visto varias baterías muertas en poco tiempo por este descuido.

Instalación del controlador

Controladores frecuentemente vienen para diferentes voltajes de baterías. Muchos manejan baterías de 12 y 24 voltios, algunos hasta 48 voltios y más. La mayoría de los controladores se ajustan automáticamente al voltaje nominal de las baterías. Por esto, es importante que se conectue el controlador primero a las baterías y solamente después a los paneles solares.

En algunos controladores hay pequeños interruptores (*dip switch*) que se debe ajustar según el voltaje y el tipo de las baterías, hay otros que tienen puentes de conexión que se debe colocar según los requerimientos.

Siempre hay que cuidarse de conectar correctamente los polos positivo y negativo. Controladores que no tienen una protección contra una mala conexión se pueden dañar de inmediato.

Si es posible, hay que usar terminales para conectar los cables. Esto asegura una buena conexión y evita una oxidación sobre el tiempo que causa pérdidas y, a veces, es razón para chispas y un rendimiento reducido.

En controladores más potentes, el sensor de temperatura viene separado para colocarlo directamente a las baterías. Si hay varias baterías instaladas, se busca un lugar entre las baterías que refleja bien la temperatura máxima de las baterías y no la del ambiente. A veces, el cable para el sensor es muy largo; este no se tiene que cortar, porque el cable forma parte del sistema.

El inversor

Recomendamos fuertemente conseguir un inversor con onda sinusoidal, porque los baratos no sinusoidales o semisinusoidales acortan la vida y pueden dañar aparatos sensibles como, por ejemplo, compresores de neveras y otros electrónicos. Cuestan más, pero el costo adicional es justificado. Inversores de calidad, además, vienen con toda la protección para las baterías, contra malas conexiones, sobrecarga y contienen fusibles que aumentan la seguridad.

La conexión

Un inversor se conecta al controlador si la salida del controlador puede mantener la corriente eléctrica que el inversor requiere para su máxima potencia. Frecuentemente, este no es el caso y se pone directamente la batería en paralelo al controlador. Para esto, se usan conectores de baterías que permiten la conexión de ambos cables en una forma limpia, para asegurar buenos contactos. Las conexiones de 220V de la salida del inversor se realizan igual que una instalación común de 220V. ¡No hay que olvidar los fusibles!

Microinversor o inversor integrados

Se trata de pequeños inversores, cuya potencia no suele superar los 300 W, que se instalan junto a cada uno de los módulos de forma que todos ellos quedan conectados en paralelo. Este método permite ahorrar en cableado de corriente continua, proporciona modularidad a la instalación y permite que la avería de uno de los módulos no afecte a la producción del resto. Sin embargo, esta configuración implica un alto costo, por lo que está limitada a instalaciones de baja tensión de pequeña escala. (Julián Cantos Serrano, 2016, p. 142)

Diferencias entre el inversor y microinversor

Conocer las diferencias, como las capacidades de control, las conexiones y las ventajas en general, entre estos dos dispositivos, nos ayudará a determinar la aplicación especial para cada uno de estos. Volt Ingeniería menciona:

Microinversor

1. Tiene capacidad para controlar 1, 2 o 4 paneles fotovoltaicos dependiendo de la marca.
2. Se puede conectar una cantidad ilimitada de microinversor.
3. El sistema se vuelve totalmente modular, se pueden instalar 1, 2 o 3 y dejarse preparados para crecer en el futuro.

4. La gran ventaja de un microinversor sobre un inversor central es que el sistema no se ve afectado por las sombras. Es decir, si un panel es afectado por una sombra, los demás paneles siguen trabajando al 100%. Si un panel está dañado, todos los demás siguen trabajando. Se va a obtener el máximo de potencia de cada uno de los paneles. Al tener sistema de monitoreo se obtiene información de cada uno de los paneles fotovoltaicos, se puede detectar una falla fácilmente.
5. Se recomienda instalar equipos en proyectos de hasta 20 paneles fotoeléctricos, ya que es el máximo en donde los microinversores son competitivos en precio. Se pueden instalar más, pero el precio se eleva considerablemente.
6. Las garantías de los equipos van de 20 a 30 años.

Inversor central

1. Tiene capacidad para controlar cualquier cantidad de celdas solares dependiendo de la marca y la capacidad deseada.
2. Su potencia está limitada a cierta cantidad de placas solares; en caso de querer aumentar la potencia, se necesita tener otro inversor, aun cuando solo se quieran instalar 1, 2 o 3 paneles. La inversión en comprar otro inversor es bastante alta.
3. El sistema se vuelve de capacidad limitada. Se puede considerar espacio para crecer en el futuro, si no se hace en el futuro, es complicado poder crecer.
4. La gran desventaja de un inversor es que, si un solo panel es afectado por la sombra, el sistema estará trabajando con el panel que le suministre la menor potencia. Si un panel está dañado o está suministrando menor potencia, todo el sistema trabajará al mínimo. Al monitorearse, se puede obtener información del sistema completo y cualquier falla es difícil de detectar.
5. Las garantías de los equipos van de 10 a 15 años.

Posibles disposiciones del generador fotovoltaico con base en el sistema de inversores

Existen diferentes disposiciones de conexiones posibles de los paneles fotovoltaicos con el inversor. Mascarós Mateo dicta tres conexiones muy comunes:

Existen distintas disposiciones posibles del generador fotovoltaico en función del sistema de inversores seleccionado. Algunos de estos esquemas son:

- Un inversor para cada módulo fotovoltaico
- Un inversor por cadena o *string*
- Un inversor central para todo el generador fotovoltaico
- Un generador fotovoltaico con varios inversores, donde se utiliza un inversor para varias cadenas
- Un inversor central *multitracker* para todo el generador fotovoltaico

Un inversor para cada módulo fotovoltaico

En esta tipología, cada módulo tiene su propio inversor, lo que consigue que funcionen en su punto de máxima potencia. Uno de los inconvenientes es su elevado coste, ya que se utiliza un inversor por cada módulo fotovoltaico.

Un inversor por cadena o *string*

Se aplica en instalaciones de mediana potencia donde la cadena o *string* se conecta a un inversor. De esta forma, se consigue que cada cadena funcione en su punto de máxima potencia, independientemente de posibles averías o sombreado en el resto de cadenas.

Un inversor central para todo el generador fotovoltaico

Este esquema utiliza un único inversor para todo el generador fotovoltaico. Se aplica en instalaciones de pequeña potencia. Entre sus ventajas, se encuentra el reducido costo económico en la inversión inicial, así como en el mantenimiento.

Sin embargo, un fallo del inversor provoca el paro de la producción de energía de todo el generador fotovoltaico. Si el inversor dispone de un único dispositivo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), el fallo o el sombreado de una cadena, o parte de ella, da lugar a una reducción de la producción de energía en comparación con otros esquemas posibles. Una solución es utilizar un inverso *multitracker*. (p. 144)

Estructuras para los paneles solares

Esta corresponde al soporte que se coloca antes de instalar las celdas fotovoltaicas. Existen múltiples tipos por considerar y, dentro de estas, se debe tomar en cuenta las condiciones geográficas y climáticas en las que se van a instalar. Saclima Solar Fotovoltaica indica, al respecto:

Estructuras solares

Dentro del mundo de las estructuras solares, debemos saber que no todas las superficies son iguales (inclinadas, planas), no todas están situadas en el mismo tipo de terreno ni estarán bajo las mismas condiciones climáticas, entre otras condiciones que influyen en su montaje y componentes.

Por ello, disponemos de un amplio número de estructuras para diferentes tipos de instalación.

Tipos de estructuras

Estructuras individuales

Las estructuras individuales están dirigidas a terrazas o tejados planos en los que se necesita colocar módulos en posición horizontal y la cantidad de paneles no es muy grande.

Estructuras con triángulo inclinado

Aunque también estén destinadas a terrazas o tejados planos, en las estructuras con triángulo inclinado los módulos se colocan en posición vertical y son más económicas cuando la cantidad de paneles necesarios es mayor.

Estructura coplanar

Las estructuras coplanares se utilizan en tejados inclinados y ofrecen soluciones como los salva-tejas y espárragos de doble rosca, que facilitan el montaje y su seguridad, a la vez que disminuyen el impacto visual.

Otros tipos

Las instalaciones de huertas solares, de inclinación variable, las elevadas o para tejados tipo “sándwich”, utilizan estructuras más específicas con soluciones innovadoras y muy eficientes.

Radiación, zonas de viento, número medio anual de días de nieve

Para saber qué tipo de estructura es más conveniente para nuestra instalación, aparte del tipo de tejado sobre el que se vaya a instalar, encontramos dos campos que nos permitirán obtener el máximo rendimiento de nuestros módulos, si se conocen a fondo y nos adaptamos correctamente a sus características.

Situación geográfica

El lugar donde se vaya a instalar la estructura es el primer factor por tener en cuenta. Esto es debido a que la latitud del terreno es el principal indicador para conocer la inclinación que aplicaremos a dicha estructura. ¿Por qué?

Muy simple: El sol no incide con el mismo ángulo en el ecuador del planeta que en el polo norte, ni incide igual en verano o en otoño. Por ello, debemos calcular cuál es la inclinación con la que mayor eficiencia obtendremos basándonos en las variaciones del ángulo de radiación solar, en una zona concreta, dependiendo de la estación del año en la que nos encontremos.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas determinan todas las demás características de la estructura. Encontramos:

- Velocidad media del viento: vientos fuertes nos forzarán a aumentar las fijaciones y seguridad del montaje.
- Días nublados: el número medio de días nublados nos indicará la cantidad de módulos fotovoltaicos que se tienen que colocar

para obtener la potencia requerida por la instalación y, con ello, las dimensiones de la estructura.

- Nieve: en zonas dónde el número medio anual de días de nieve sea considerable, debemos adaptar la inclinación de la estructura para que la nieve no se acumule encima de los módulos y estos no tengan que soportar un peso superior al recomendado y no se vean parcial o totalmente tapados por la nieve, lo que no permite captar eficientemente la radiación solar.
- Humedad: La abrasión producida por la humedad nos indica qué tipo de componente utilizar: acero, metales galvanizados.

Cálculos para sistemas fotovoltaicos

En la siguiente sección, se incluyen varias fórmulas para los cálculos de energía en sistemas fotovoltaicos.

Energía generada por un panel solar

Conociendo la cantidad de horas solares pico (HSP), se es capaz de calcular cuánta energía es capaz de generar un panel fotovoltaico en el plazo de un día. SFE Solar Logistic SL (2015) determina las siguientes fórmulas:

Así pues, para **calcular la energía generada por un panel solar** durante un día (E_{panel}), debemos usar la siguiente ecuación:

$$E_{\text{panel}} = I_{\text{panel}} * V_{\text{panel}} * \text{HSP} * 0.9 \text{ [Whd]} \quad (1)$$

Siendo, I_{panel} y V_{panel} la corriente máxima y tensión máximas del panel, HSP son las horas sol pico, y 0,9 sería el coeficiente del rendimiento del panel (típicamente, 85-90% al descontar ya las pérdidas). La energía resultante estaría expresada en Whd.

Esa sería la energía generada por un solo módulo solar, pero si lo que queremos es saber **cuánta energía va a generar una instalación solar con varias placas solares**, simplemente habría que aplicar la fórmula siguiente:

$$E_{\text{generador-fotovoltaico}} = I_{\text{generador-fotovoltaico}} * V_{\text{generador-fotovoltaico}} * \text{HSP} * 0.9 \quad (2)$$

La corriente, en este caso, sería la máxima resultante de la asociación de los módulos fotovoltaicos conectados en paralelo de cada rama (*string*), y la tensión sería la resultante de la suma de tensiones de cada rama (*string*) conectados en serie.

Número de paneles

$$\text{Número de paneles} = \frac{E}{0.9 * W_P * HSP} \quad (3)$$

Donde:

E = Consumo energético por día, expresado en Watts por hora al día (Wh/día)

W_P = Potencia pico del panel, expresado en Watts (W)

HSP = Horas solares pico

0.9 = Coeficiente de rendimiento del panel que contempla un 10% de pérdidas
(Regalado Bobadilla y Quispe Chanampa, 2015, p. 8)

Potencia generada por paneles solares

Esta fórmula corresponde a la potencia generada por los paneles solares utilizando el parámetro de horas solar pico de cada mes. Miguel Alonso Abella (2005) afirma:

$$P_{\text{Generada-Paneles}} = \frac{\text{Consumo total (kWh)}}{\sum(\#días * HSP/mes)} \quad (4)$$

Generación distribuida

La generación distribuida tiene como objetivo complacer suficiencias energéticas del productor o del productor-generador. Acesolar (s.f.) la define así:

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

Generación distribuida interconectada a la red.

En estos casos, el productor-consumidor instala su sistema de generación pero, a la vez, mantiene la conexión a la red pública de la distribuidora eléctrica donde se ubica. Este tipo de generación distribuida con interconexión funciona de manera que, en periodos de generación de electricidad, donde no hay consumo o hay menor consumo que el generado por parte del usuario (e.g. al mediodía), el excedente de electricidad producido sea inyectado a la red eléctrica. Luego, en períodos donde no hay generación (e.g. de noche), pero sí consumo, el cliente toma la electricidad de la red eléctrica pública. Al final de cada periodo de facturación se hace un balance entre la electricidad inyectada a la red y aquella consumida de la red.

- **Generación distribuida interconectada a la red**

En estos casos, el productor-consumidor instala su sistema de generación, pero a la vez mantiene la conexión a la red pública de la distribuidora eléctrica donde se ubica. Este tipo de generación distribuida con interconexión funciona de manera que en periodos de generación de electricidad donde no hay consumo o hay menor consumo que el generado por parte del usuario (e.g. al mediodía), el excedente de electricidad producido sea inyectado a la red eléctrica.

Luego, en periodos donde no hay generación (e.g. de noche), pero sí consumo, el cliente toma la electricidad de la red eléctrica pública. Al final de cada periodo de facturación se hace un balance entre la electricidad inyectada a la red y aquella consumida de la red.

- **Generación distribuida aislada**

La generación distribuida aislada se da en casos que la extensión de red resulte inviable económica, ambiental o socialmente.

Se utiliza por lo general en zonas muy remotas, donde la generación FV debe de ser complementada por un sistema de baterías para el almacenamiento, y en algunos casos por otras fuentes de generación, e.g. generadores diésel, turbinas eólicas, entre otros. Los sistemas aislados pueden ser individuales, para alimentar el consumo de solo una casa o edificio; o también pueden ser microrredes, las cuales se caracterizan por brindar servicio a varios usuarios, donde la generación tendrá que ser mayor.

AR-NT-POASEN (capítulo XII)

Para la interconexión de los paneles fotovoltaicos al sistema eléctrico de Costa Rica, se toma como referencia esta norma técnica. El ingeniero Gustavo Valverde dicta, al respecto:

La norma técnica planeación, operación y acceso al sistema eléctrico nacional (AR-NT-POASEN) de la Aresep establece la forma en que se planeará, desarrollará y operará el sistema eléctrico nacional y las condiciones técnicas, comerciales y tarifarias para los interesados en interconectarse al sistema.

Esta norma técnica fue aprobada por la junta directiva de la Aresep el 31 de marzo del 2014 y el 8 de abril del mismo año fue publicada en el diario oficial *La Gaceta*. El capítulo XII de la AR-NT-POASEN establece el libre acceso de generadores para autoconsumo, de 1 MW o menos, a la red de distribución, siempre y cuando la red cuente con las condiciones técnicas para tal efecto y que el interesado cumpla con las condiciones técnicas, comerciales y requisitos establecidos en la norma. Asimismo, el abonado con generación para autoconsumo debe consumir al menos el 51% de la energía generada y la fuente primaria de generación debe ser renovable.

La norma hace una división de micro y minigeneración, de acuerdo con la capacidad nominal de los generadores. Los microgeneradores son generadores cuya capacidad nominal es de 100 kVA o menos y los minigeneradores tienen capacidad superior a 100 kVA, pero igual o inferior a 1000 kVA.

Estos generadores deberán cumplir con las especificaciones constructivas y operativas establecidas en las normas técnicas IEEE 1547, IEEE 519, IEEE 929 y UL 1741, según corresponda. Entre los puntos más importantes por resaltar de la norma está que solicita a las compañías de distribución realizar los estudios técnicos de viabilidad de interconexión del generador distribuido, y obliga a las compañías de distribución a cuantificar la capacidad de sus redes de distribución, para operar con generación para autoconsumo, sin afectar la continuidad, seguridad y calidad del suministro eléctrico.

Entre las restricciones de interconexión establecidas por la Aresep están:

- La capacidad del generador no puede ser superior al 50% de la capacidad de los conductores de la red de distribución.
- La suma de las potencias nominales de los generadores en un mismo alimentador no debe exceder el 15% de la máxima demanda anual del alimentador.
- La capacidad agregada del microgenerador conectado a un transformador debe ser menor o igual a la capacidad del mismo.
- La interconexión de un microgenerador con capacidad superior a 50 kVA conectado a la red de media tensión debe efectuarse a través de un transformador de uso exclusivo.

La Aresep establece, en la norma, la modalidad de medición neta sencilla para reconocer los excedentes de energía del generador distribuido, que son inyectados a la red de distribución. En caso de excedentes de energía al final del mes en curso, el abonado acumula el excedente para utilizarlo en el mes o meses siguientes en el mismo año calendario, tras el cual, el excedente no será reconocido por la empresa distribuidora.

Finalmente, la norma establece un costo por interconexión que se deberá pagar una única vez, en el momento en que se firma el contrato de interconexión, y una tarifa de acceso a la red que el abonado con generación distribuida deberá pagar mes a mes a la empresa de distribución.

Los costos de interconexión contemplan el costo del sistema de medición y sus accesorios, así como los estudios de ingeniería, inspección y puesta en servicio de la interconexión. De acuerdo con la Aresep, la tarifa de acceso a la red contempla la proporción de los costos fijos de la empresa de distribución, que todo abonado debe retribuirle independientemente de su consumo.

Dichos costos fijos están determinados por inversiones, el valor de capital, costos de mantenimiento y operación de la red, así como los costos asociados con las actividades de comercialización. La tarifa de acceso a la red se aplica a los kWh consumidos por el abonado a partir de la generación propia.

Lámparas fluorescentes

Las lámparas de tecnología fluorescente están determinadas para el bajo consumo de electricidad. Bastián (2001) explica, respecto a este tipo de lámparas, que:

En un tubo de vidrio que tiene aplicadas unas capas luminiscentes hay, además de vapor de mercurio, una pequeña cantidad de gas noble, por ejemplo, argón o criptón. Para los electrodos se emplean unos filamentos de wolframio en los extremos del tubo. El recubrimiento con óxidos metálicos, por ejemplo, óxido de bario, que facilita la salida de electrones de los filamentos.

Las lámparas fluorescentes se suelen construir en forma de barra. La longitud de la barra depende de la potencia de la lámpara. Trabajan con aparato de conexión.

El flujo luminoso emitido disminuye principalmente por debajo de la temperatura ambiente. A 20 °C, el rendimiento lumínico es 3 a 8 veces el de una bombilla incandescente. Las lámparas fluorescentes se emplean principalmente para el alumbrado general. Las lámparas en forma de U o de anillo permiten unas dimensiones menores para iluminarlas.

Las **lámparas fluorescentes compactas** son lámparas fluorescentes de un tamaño mínimo. El aparato de conexión necesario puede estar dispuesto en el exterior, es decir, separado de la lámpara, o bien incorporado en la misma lámpara. Las lámparas fluorescentes comparas con rosca E27 se pueden emplear sin ninguna modificación de la instalación en lugar de bombillas incandescentes, por ejemplo, para alumbrado de habitaciones. Por su reducido consumo de corriente, las lámparas fluorescentes compactas se denominan también lámparas economizadoras de energía.

Ventajas de las bombillas fluorescentes de bajo consumo

Las ventajas sirven para establecer por qué una bombilla fluorescente es una mejor opción en comparación con bombillas de diferente tecnología. Equipo Editorial (2012) informa, sobre este asunto:

Con este tipo de lámparas se ha querido alcanzar un objetivo ambicioso: acentuar todas las ventajas de la iluminación fluorescente (bajo consumo y duración excepcional), eliminando sus inconvenientes.

Con relación a una lámpara normal incandescente, consume cuatro veces menos y, a igualdad de luz, dura cinco veces más. En realidad, es un tubo fluorescente miniaturizado, en el que cebador y balasto incorporado, son el secreto de estas lámparas.

Tiene otra característica: usa el mismo casquillo que las incandescentes, lo que permite sustituirlo por una incandescente sin más que enroscarla en el portalámparas.

Lámpara LED

Las lámparas tipo LED son un tipo de tecnología que busca disminuir el consumo eléctrico realizado por sistemas de iluminación. Carrasco Hernández, García Espinosa y Núñez Abad (2012) dictan sobre este tipo de iluminación:

Si las lámparas de bajo consumo están destinadas a desbancar a las lámparas de filamento, posiblemente las lámparas LED lo estén para terminar con las de bajo consumo.

Las lámparas LED duran más que una bombilla de bajo consumo, su luz es más brillante y consumen menos que una bombilla de bajo consumo.

Los LED están basados en el efecto fotoeléctrico descubierto por Einstein en 1921, ya que descubrió cómo alguno material, al ser sometidos a una corriente eléctrica, emiten luz.

La luz blanca de los diodos se produce gracias al recubrimiento de fósforo que recubre la ampolla que contiene al diodo propiamente dicho, ya que este produce una luz azul y la suma de los dos (amarillo del diodo y azul del fósforo) produce la luz blanca. Los LED con semiconductores funcionan con C.C., por lo que debemos poseer un rectificador o casquillos especiales que los contengan.

Ventajas de las bombillas LED

Las ventajas se utilizan para determinar por qué una luminaria LED es superior en comparación con otras tecnologías de bombillas. Penalva (2018) indica que:

La tecnología LED supone un aumento significativo de la vida útil de una bombilla, situándose de media en modelos de calidad por encima de las 40.000 horas. Hay que tener en cuenta también que, dependiendo del uso que le demos, la calidad y estabilidad de nuestra instalación o su situación (si está empotrada o no, con mejor o peor disipación), por cuestiones de calor excesivo podría reducir la vida útil marcada por el fabricante, que siempre es en condiciones ideales.

Otras ventajas de usar luces LED tiene que ver con que su encendido es instantáneo, hay más opciones para elegir por temperatura de color, pueden ser regulables y también se consideran menos contaminantes, presumiendo especialmente de no contener nada de mercurio, que es una de las desventajas de las bombillas de bajo consumo de tipo fluorescente.

A nivel de diseño, elegir la tecnología LED permite a las compañías una fabricación más diferencial de las bombillas, adaptando formatos que tanto con las clásicas como con las de bajo consumo no resulta tan sencillo conseguir.

Diseño de iluminación con base en el método de los lúmenes

La iluminación es un extenso tema que llega a abarcar no solo tecnologías y parámetros de seguridad, sino también la reacción del usuario. Un correcto diseño de

iluminación no solo ofrece una manera de aclarar un espacio, puede crear ambientes agradables y otorgar un correcto o sostenible uso de la energía.

Para tomar una decisión sobre la fuente de luz artificial más apropiada, se deben considerar múltiples aspectos, como el número, colocación, posición, diferencias de distancias entre luminarias, entre otros aspectos que usualmente son descuidados. Debido a esto, se ve la necesidad de que haya un determinado y profundo análisis que permita la correcta selección de luminarias; para esto, se utilizara el método de los lúmenes.

El método de los lúmenes corresponde a un proceso de varios cálculos, basado en coeficientes de la luminaria, como son los de utilización y mantenimiento, flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia. La función de este método es establecer un número de luminarias y evaluar su nivel de iluminación, para determinar si es el adecuado.

Factores necesarios para el método de los lúmenes

Para la realización del cálculo de iluminación general, se utilizará el método de los lúmenes (sistema general o método del factor de utilización), por lo cual es necesario presentar la definición de algunos parámetros fundamentales en los cuales se basa este método. Castilla, Blanca, Martínez y Pastor (s.f.) definen estos parámetros:

Flujo luminoso (ϕ)

Definición: Potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible

Unidad de medida: lumen (lm)

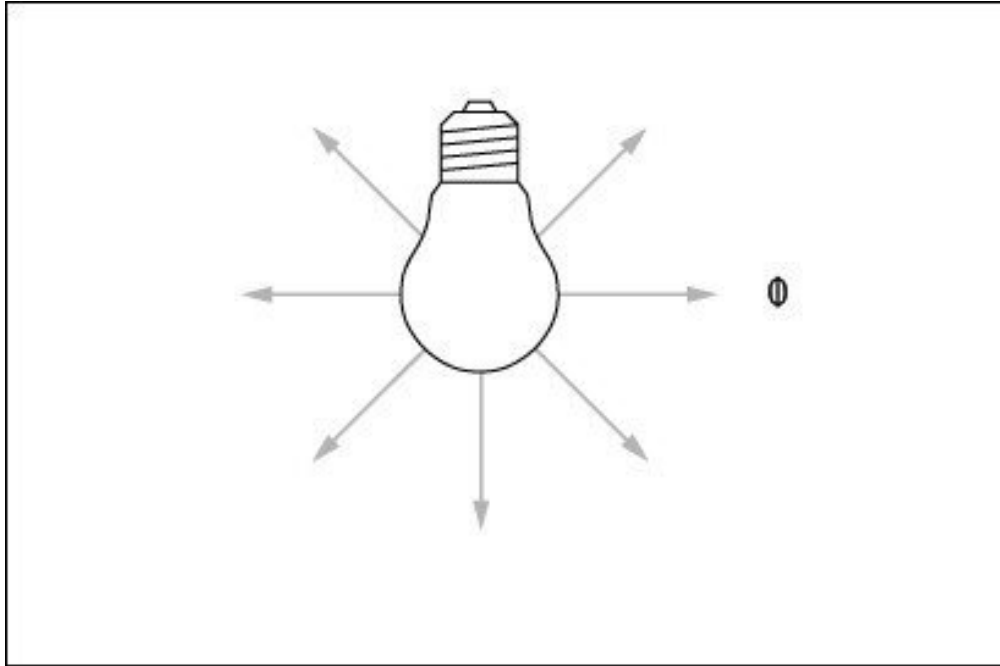


Figura 1. Representación visual del flujo luminoso

Fuente: <https://arquitecturainteligente.wordpress.com/2007/10/19/lamparas-flujo-luminoso/>

Intensidad luminosa (I) (para una fuente puntual)

Definición: Cantidad de flujo luminoso emitido por cada uno de los rayos que la fuente emite en una determinada dirección por unidad de ángulo sólido. Magnitud que expresa como la distribución del flujo luminoso en el espacio. Esta magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido o estéreo que se mide en estereorradianes

$$I = \varphi / \omega$$

φ = flujo luminoso, ω = ángulo sólido

Unidad de medida: candela (cd)

Candela (cd) = lumen / estereorradián

Definición de candela (cd): intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de 1 lumen en un ángulo sólido de 1 estereorradián.



Figura 2. Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

Fuente: <http://luminotecniaciencia.blogspot.es/i2017-02/3>

Iluminancia (E)

Definición: Flujo luminoso recibido por una superficie.

$$E = \frac{\Phi}{S}, S = \text{superficie}$$

Unidad de medida: lux=lm/m²

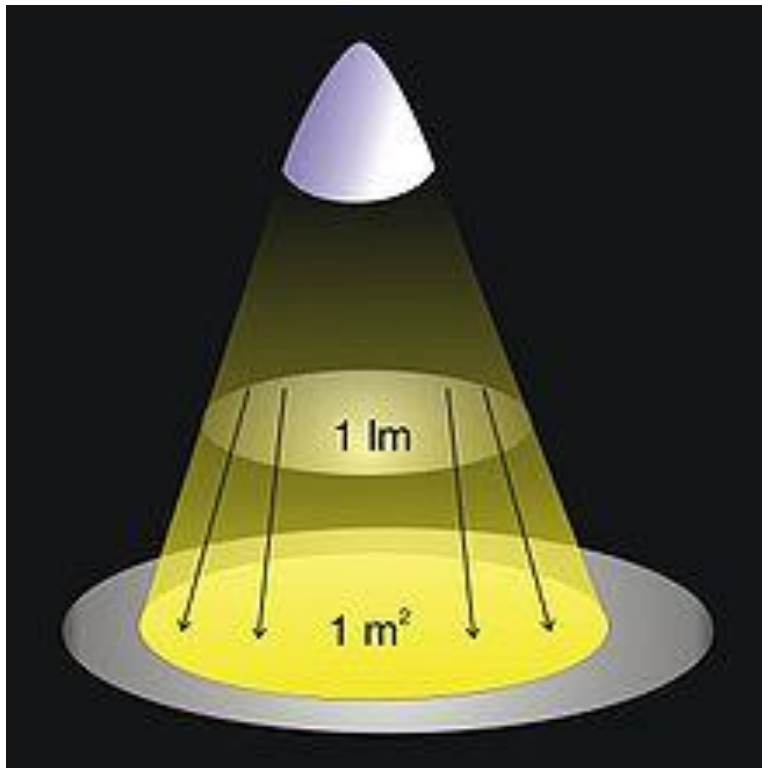


Figura 3. Representación visual de iluminancia.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Emitancia_luminosa

Luminancia (L)

Definición: Efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, tanto si procede de una fuente primaria que produce luz, como si procede de una fuente secundaria o superficie que refleja luz.

Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias. El área proyectada es la vista por el observador en la dirección de la observación.

Se calcula multiplicando la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad luminosa:

$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}}$$

Unidad de medida: cd/m²

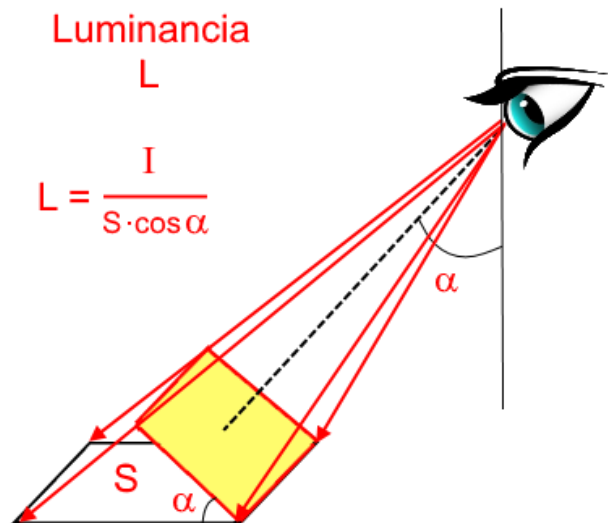


Figura 4. Representación visual de luminancia.

Fuente: <http://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesFundamentales.php>

Coefficiente de utilización

Este también corresponde a otro factor necesario para el método de los lúmenes y corresponde básicamente a la medida de eficiencia de luminaria. Usualmente, se incluye en tabulado y es facilitado por el fabricante; pero si no es el caso, este puede ser aproximado con fórmulas dentro del método de los lúmenes. Piraino (s.f.) indica:

En iluminación, el coeficiente de utilización (CU) es una medida de la eficiencia de una luminaria en la transferencia de energía lumínica al plano de trabajo en un área determinada.

El CU es la proporción de lúmenes que inciden desde una luminaria a un plano de trabajo en relación con los lúmenes emitidos por la lámpara sin la luminaria.

El CU (normalmente expresado en porcentaje) es el flujo luminoso recibido sobre un plano de trabajo. Por ejemplo, algo de luz emitida por la luminaria puede salir del plano de trabajo deseado y, por tanto, se desperdicia. El CU mide la luz aprovechada en el plano deseado, como un porcentaje de la luz total emitida por el foco emisor.

Coefficiente de mantenimiento:

El factor de mantenimiento de luminaria LMF (luminaire maintenance factor) tiene en cuenta la depreciación del flujo luminoso de la luminaria a consecuencia del ensuciamiento de esta última. Viene a representar la relación entre el rendimiento de una luminaria al momento de la limpieza y el valor inicial. Depende de la forma de construcción de la luminaria y de la posibilidad de ensuciamiento que conlleva. La clasificación LMF es indicada siempre junto a la luminaria. Para el plan de mantenimiento interesa determinar la periodicidad óptima de limpieza. (Erco, s. f.)

Formulas del método de los lúmenes

Para la correcta realización de este método, es necesario saber previamente las dimensiones del local y establecer la lámpara y luminaria por utilizar, debido a que estos son

datos necesarios para determinar el número de luminarias. Castilla y otros (s.f.), citando a Blanca y Aguilar (1995), indican las siguientes fórmulas:

Cálculo del flujo luminoso total necesario

La fórmula que se emplea es la siguiente:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \quad (5)$$

Donde:

E_m = nivel de iluminación medio (en LUX)

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en lúmenes)

S = superficie por iluminar (en m^2)

Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización (C_U) y de mantenimiento (C_m), que se definen a continuación:

C_u = Coeficiente de utilización: es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

C_m = Coeficiente de mantenimiento: es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

Cálculo del número de luminarias

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (6)$$

Donde:

NL = número de luminarias (el valor de NL se redondea por exceso)

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo)

n = número de lámparas que tiene la luminaria

Cálculo del índice del local (k)

El índice del local (k) se averigua a partir de la geometría de este, debido a que utiliza los datos de las dimensiones del local.

a = ancho; b = largo; h = altura (pp. 332-334)

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a * b}{h * (a + b)}$
Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 * a * b}{2 * (h + h') * (a + b)}$

Figura 5. Fórmulas para el cálculo del índice del local.

Fuente: <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html>

Cálculo de la colocación de las luminarias

Estas fórmulas ayudan a establecer la distancia entre cada luminaria y el acomodo para su forma de repartición, con base en el área disponible de la habitación por examinar. Garcia y Boix (s.f.) dictan las siguientes fórmulas:

Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias, procederemos a distribuir las sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular, las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local, según las fórmulas:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{\text{Largo}} * \text{Ancho}}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} * \left(\frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}}\right)$$

Donde N es el número de luminarias

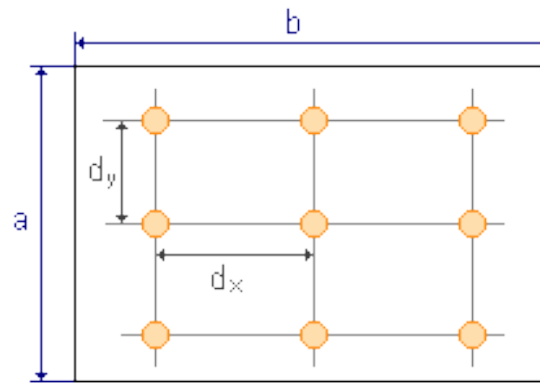


Figura 6. Ejemplo de la ubicación de las luminarias

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>

La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo.

Veámoslo mejor con un dibujo:

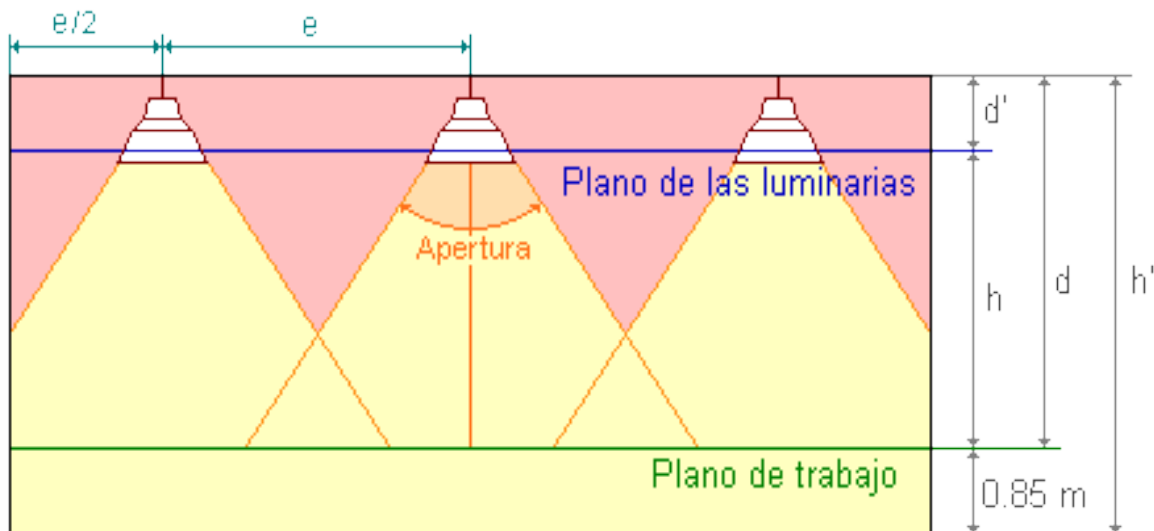


Figura 7. Representación de la distancia entre luminarias

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>

Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria, más superficie iluminará, aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo, tal como dice la ley inversa de los cuadrados.

De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir como sigue:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	$\leq 4 m$	$e \leq 1.6 h$
distancia pared-luminaria: $e/2$		

Figura 8. Tabla de distancias para tipos de luminarias.

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>

Si después de calcular la posición de las luminarias, nos encontramos que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida, quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

Comprobación de los resultados

Esta fórmula nos permite evaluar el resultado en base a tablas o normas. Se utilizarán los valores de la norma INTECO INTE 31-08-06-2000. Garcia y Boix (s.f.) dictan la fórmula siguiente:

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{NL * n * \Phi_L * C_u * C_m}{S} \quad (7)$$

Metodología para evaluar rentabilidad de sistemas fotovoltaicos

Como guía para la evaluación de la rentabilidad de sistemas fotovoltaicos, se toma como directriz lo mencionado por Valverde (2015):

De acuerdo con los resultados del plan piloto del ICE y los resultados de las encuestas a las demás empresas de distribución, la generación fotovoltaica es la tecnología de generación para autoconsumo con mayor proyección en Costa Rica. Sin embargo, no se ha cuantificado el atractivo económico de dichos sistemas para el usuario. Dicho análisis debe considerar los precios de la electricidad actual, los precios de los sistemas fotovoltaicos y las tarifas aprobadas por la Aresep para acceso e interconexión a la red.

Para evaluar la factibilidad económica de estos sistemas de generación, se realizó un análisis de flujo de caja desde el punto de vista del abonado. Los cálculos de la rentabilidad y el tiempo de recuperación de la inversión se realizaron comparando entre el caso en que el abonado no invierte en el sistema fotovoltaico y el caso en que sí instala el sistema en el año 2015 (año 0 de análisis). En cada año del flujo de caja, se calcula el ahorro en factura eléctrica a partir de la diferencia en la factura eléctrica sin sistema fotovoltaico y la factura eléctrica con sistema fotovoltaico.

Dichos ahorros se toman como valores positivos (ingresos) en el flujo de caja. La inversión inicial, las cuotas de préstamo, costo de instalación y acceso a la red se toman como valores negativos (erogaciones). El objetivo económico de un abonado para instalar un sistema de autoconsumo es percibir una reducción en el recibo mensual de sus servicios de electricidad. En la medida en que dichos ahorros cubran la inversión inicial y los costos por año, más una determinada ganancia, el sistema se considerará económicamente atractivo.

Estimación de energía y potencia de sistemas fotovoltaicos

La metodología desarrollada utiliza datos históricos de irradiación solar para estimar la producción de un sistema fotovoltaico típico de 1 kW en diferentes puntos del país, basado en la metodología de la herramienta PVWatts de NREL. En términos generales, la estimación de la producción mensual se basa en datos de irradiación

horaria en el lugar de interés, temperatura de la celda en función de la irradiación horaria, posición del sol, inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos, así como los datos de pruebas STC y NOCT.

Debido a que en este estudio se están considerando ventanas de tiempo que cubren la vida útil del sistema fotovoltaico, se incluyó la degradación del panel cuando se quiere estimar la energía generada. Para este caso, se supuso una tasa de degradación del panel 0,8 %/año, lo cual implica una pérdida del 14,84% de capacidad de producción al final de los 20 años en análisis.

Parámetros del flujo de caja

Los parámetros económicos del flujo de caja se escogieron de acuerdo con las definiciones, realidad económica nacional y supuestos por parte del equipo consultor. El cuadro 4.1 resume los parámetros de los flujos de caja necesarios para calcular la tasa interna de retorno (TIR) y los tiempos de recuperación de inversión presentados en las secciones 4.2.

Las tasas de corte dependen del interesado. Se utilizaron valores relativamente altos suponiendo que el interesado preferiría invertir en otras opciones antes de considerar la generación distribuida para autoconsumo. Tasas de corte más bajas reducirán el tiempo de recuperación de la inversión.

Variaciones del consumo mensual y demanda máxima de abonados

El análisis de flujo de caja requiere tres componentes principales para modelar el consumo de electricidad de los abonados. En primera instancia se requiere conocer el consumo de energía mensual y la variación de dicho consumo a lo largo del año. Luego, en el caso de las tarifas TMT y TG se requiere conocer el detalle de la potencia máxima demandada y la hora a la que esta se produce. Finalmente, se requiere suponer una tasa de variación interanual en consumo y demanda. Todos estos componentes se incluyeron en el presente análisis.

Ahora bien, la hora a la que se produce la demanda máxima se considera constante para todos los clientes debido a que no se puede extraer una tendencia clara. En el caso de la TG se supuso que los clientes tienen su pico de demanda a la 1 p. m. y, en el caso de TMT, los picos para cada periodo suceden con la tendencia mostrada en el cuadro 4.2. Finalmente, dado que el modelo de rentabilidad abarca la vida útil mínima

de los paneles fotovoltaicos (al menos 20 años), en el presente modelo se supone que el abonado tiene una reducción anual de consumo de un 1%. Esto se basa en la reducción esperada de consumo de los abonados debido a sustitución de equipos por tecnologías más modernas y eficientes. En el caso de demanda máxima para clientes comerciales e industriales se supuso un aumento anual de un 1%. En términos generales, en el análisis de rentabilidad se suponen variaciones pequeñas de consumo y demanda del abonado a lo largo de los años.

Cuadro 4.1.: Parámetros del flujo de caja

Análisis de flujo de caja	
Periodo	20 años
Tasa de corte o descuento (TR)	8%
Tasa de corte o descuento (TG)	12%
Tasa de corte o descuento (TMT)	12%
Inflación	4,5%
Tipo de cambio del dolar	540 col
Aumento en la tarifa eléctrica	10%
Financiamiento bancario	
Periodo del préstamo	10 años
Tasa de interés del préstamo	10%
Porcentaje financiado	0%

Cuadro 4.2.: Relación temporal de los picos TMT

Periodo	Hora Demanda Máxima
Punta	11:00
Valle	13:00
Nocturno	20:00

Figura 9: Parámetros del flujo de caja

Fuente: Análisis Técnico-Financiero de la Generación Distribuida en la CNFL. (2015).

Tarifas de electricidad

Estas tarifas están determinadas por el ARESEP para cada una de las empresas en Costa Rica. Valverde (2015) indica lo siguiente:

Uno de los principales datos de entrada del modelo de rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos es la tarifa de electricidad, pues tiene un impacto importante en los resultados del análisis. El análisis actual se basa en las tarifas de TR, TG y TMT publicadas por cada compañía de distribución y vigentes para el segundo trimestre del 2015. Al momento de realizar el estudio, las tarifas de electricidad del ICE son mayores que las tarifas de CNFL, de tal forma que es posible que sea más atractivo instalar sistemas fotovoltaicos en el área de concesión del ICE, pues el ahorro percibido por sus abonados será mayor.

Costo de sistemas fotovoltaicos

El costo de los sistemas fotovoltaicos es escalonado y se estableció según consultas a suplidores de sistemas fotovoltaicos. Para sistemas de 3 kW o menos, el costo promedio es de 2930 US\$/kW instalado; para sistemas entre 3 y 5 kW, el costo promedio es de 2330 US\$/kW instalado; para sistemas mayores a 5 kW hasta 10 kW el costo promedio es de 2130 US\$/kW instalado y los sistemas mayores a 10 kW tienen un costo promedio de 1900 US\$/kW.

Consideraciones de AR-NT-POASEN

De acuerdo con la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos y el Reglamento del Minae, un abonado con generación para autoconsumo deberá consumir al menos el 51% de la energía producida por su sistema de generación, poniendo por tope a los excedentes que se pueden reconocer. Asimismo, en caso de excedentes de energía en un mes particular, el usuario podrá acumular esta energía para utilizarla en el mes o meses siguientes, siempre y cuando dichos meses formen parte del mismo periodo (1 año). En la modalidad de medición neta sencilla, si al final del periodo existen excedentes, la empresa distribuidora no le reconocerá dichos excedentes al abonado con generación distribuida. En el análisis también se consideran los costos de accesos a la red definidos por Aresep y presentados en el cuadro 4.3. El costo de acceso a la red y el pago por excedentes se suponen con un aumento de un 0,5% por año.

Cuadro 4.3.: Tarifas de acceso a la red

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

Cuadro 4.4.: Costo de interconexión para generadores tipo autoconsumo

Tipo de medidor	Cargo por interconexión (col)
Medidor monofásico	48687
Medidor trifásico	542004
Medidor trifásico con registro	1286240

Figura 10. Tarifas de acceso a la red.

Fuente: Análisis técnico-financiero de la generación distribuida en la CNFL, (2015).

De acuerdo con la norma AR-NT-POASEN, el generador distribuido debe pagar por la interconexión a la red. El Cuadro 4.4 presenta el costo de interconexión establecido por ARESEP según el tipo de medidor. Este pago se realiza una sola vez y se suma a la inversión inicial de los sistemas fotovoltaicos.

Otros costos

La metodología de rentabilidad también considera el costo anual de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. Este costo se aproximó en 10.000 ¢/kW/año según estadísticas publicadas por la NREL para Estados Unidos. Asimismo, el análisis considera la sustitución del inversor en el año 15, el cual tiene un costo aproximado de 250.000 ¢/kW. En el análisis se supone que el abonado no realiza un préstamo bancario para financiar el sistema de generación para autoconsumo. (Valverde, 2015)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

Esta investigación posee un enfoque cuantitativo. Se considera que la investigación es de este tipo porque posee varias características, como planeamientos acotados y la medición de fenómenos mediante el proceso deductivo y secuencial; todo eso para lograr un correcto análisis de los datos cuantitativos.

Método de la investigación

Esta investigación se clasifica en una metodología mixta, formada por diseños de investigación aplicada, cualitativa, cuantitativa y deductiva. Se comenzará por explicar las clasificaciones usadas y delimitar las secciones donde se ven presentes en la investigación.

Para clasificar esta investigación se toma en cuenta los diferentes aspectos propuestos por Hernández Sampieri y colaboradores, *Metodología de la investigación*. Estas las caracteriza por enfoques dentro de la investigación, por lo cual se verán explicados los diferentes métodos de acuerdo con algunas de estas características presentes para una fácil comprensión.

De acuerdo con los objetivos de la investigación, se tiene una metodología o diseño de investigación aplicada, debido a que se establecen estrategias para permitir el logro del objetivo concreto, el cual corresponde a la determinación del mejor diseño para la empresa y siendo este diseño de utilidad para la implementación, de así tomarlo la empresa.

Con respecto a los tipos de datos empleados, existen dos tipos de diseño o metodología, el cuantitativo y cualitativo. El método científico, según Hernández y otros (2014) se define así: “anteriormente, al proceso cuantitativo se le equiparaba con el método científico. Hoy, tanto el proceso cuantitativo como el cualitativo son considerados formas de hacer ciencia y producir conocimiento.” (p. 19).

Por lo tanto, el método cuantitativo de la investigación es el que basa su estudio y análisis mediante diferentes procedimientos de medición, permitiendo un mayor control y obteniendo explicaciones contrastadas con los resultados basados en estadística. Mientras tanto, el diseño cualitativo se basa en obtener datos de principio o carácter no cuantificable,

basándolos en la observación, centrándose en los aspectos descriptivos. Este se caracteriza por otorgar mucha información, pero subjetiva y muy poco controlable.

Por lo tanto, de acuerdo con los datos empleados en esta investigación, se tiene una metodología mixta: cuantitativa y cualitativa. Esto se debe a que se deben percibir características cualitativas, como la entrevista realizada a los gerentes de la empresa, la observación participativa del investigador en la empresa y un breve estudio de caso para los datos empleados obtenidos en las condiciones iniciales de la empresa.

Por su parte cualitativa en la investigación, se usa ampliamente en las secciones de energía solar producida y su posible costo de implementación, puesto que ambas poseen múltiples variables contables.

Para esta investigación, a la hora de extraer o inferir conclusiones para determinar su funcionalidad en la realidad, se determina que la investigación posee un método deductivo. Este se basa en un estudio de la realidad y principios generales para su búsqueda, con una respuesta o conclusión verdadera o falsa de la hipótesis por comprobar.

Fuentes de información

Se toma como fuente primaria las entrevistas realizadas a la empresa, para obtener información sobre la facturación eléctrica del lugar y el área disponible para el desarrollo de la investigación.

La investigación también posee, como fuente secundaria, el uso de citas bibliográficas. Para la realización del desarrollo, se utiliza el Código Eléctrico Nacional (NEC), la norma Inteco INTE 31-08-06-2000, las fichas técnicas o catálogos de equipos por evaluar, como los paneles solares y su estructura, las lámparas LED y fluorescentes compactas.

VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS

En esta investigación se ve como variable principal la cantidad de radiación solar posible de captar en la ubicación de la empresa Total Protection Systems S.A., debido a

razones climáticas, que limitan el control estable de la energía capaz de capturar cada día. Esto causa una fluctuación o cambio constante de la posible energía administrable para suplir la demanda energética.

Otras variables por considerar son la elección entre un inversor central o microinversores; a su vez, hay aspectos como la estructura y dimensión de paneles por escoger. En la determinación de la mejor lámpara, se presentan variables de costo, lúmenes, temperatura de color que ofrecen y la cantidad de horas de vida.

Definición conceptual

Las variables que se van a determinar y con las cuales se trabajará (y el orden en que se realizará) son tomadas de los objetivos. Gracias a esto, se podrá facilitar que las conclusiones sean claras y ordenadas.

Definición operacional

Se necesita obtener la cantidad de energía consumida por la empresa para realizar el cálculo de paneles solares, su distribución en el área disponible.

De acuerdo con la escogencia de las luminarias, se deberá tomar en cuenta el costo, el número de luminarias por utilizar y la cantidad de horas vida, para tomarlas en consideración a la hora de las conclusiones.

Definición instrumental

Las comparaciones se basan en datos de los estudios demostrados en la sección de antecedentes. Esto será tomado para facilitar la determinación de la mejor opción para el proyecto deseado.

Instrumentos

Se selecciona la entrevista al gerente de la empresa, debido a que la información necesaria y la toma de decisión, desde el área por emplear hasta el costo que se paga, pueden ser obtenidas a través de esta persona.

Proceso para la recolección y análisis de datos

La información será recolectada mediante una entrevista a los socios propietarios Rafael Calderón Acuña y Efrén Moraga Zúñiga, de la empresa Total Protection System S. A., cédula jurídica 3-101-414022, la cual radica en la ciudad de Tibás, 325 metros al oeste de la esquina suroeste del parque de Tibás.

Para la recolección de información necesaria para la propuesta, como las horas pico solares de la ubicación, se utilizó un programa o servicio en línea resultado de la iniciativa del proyecto POWER (*prediction of worldwide energy resources*, por sus siglas en inglés).

La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés), dueña de este proyecto, lo inició con el objetivo de mejorar sobre los parámetros de información de energía renovable establecidos y crear nueva información para fijar nuevos parámetros a partir de sistemas de satélites. Sus resultados pueden ser apreciados en el apéndice B.

Para el análisis de estos datos, se emplea el Código Eléctrico Nacional NFPA 70, para establecer parámetros, normas y reglas en general por seguir con respecto al diseño eléctrico.

El diseño de un sistema de iluminación por medio de lúmenes se ve complementado por la norma Inteco INTE 31-08-06-2000, que dicta los “niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo”.

Este análisis consta de un diseño de un sistema fotovoltaico que implementa paneles solares para esta empresa electromecánica. Primero, este diseño se basa en los consumos de energía eléctrica mensuales de la empresa y en la radiación solar capaz de captar en la ubicación previamente mencionada.

Se realiza una propuesta de un sistema fotovoltaico que implementa paneles solares para la localidad de la empresa, la cual se enfoca en crear una situación extrema o más

desfavorable, estableciendo variables, como el mayor consumo posible de energía por parte de la compañía, con la menor generación de energía capaz por parte del sistema fotovoltaico. A continuación de eso, se realiza un análisis financiero para esta propuesta del sistema fotovoltaico.

Una vez logrado esto, se comienza a realizar dos propuestas más. Estas se encuentran basadas en el intercambio de tecnologías de lámparas LED y lámparas fluorescentes compactas. Para esto, se realizan dos diseños de iluminación basados en el método de los lúmenes, entre ambas tecnologías.

Se tendrá como resultado tres propuestas, una de ellas solamente incluirá el diseño del sistema fotovoltaico de paneles solares. Las otras dos propuestas incluirán este sistema fotovoltaico, pero con la diferencia entre las tecnologías de las lámparas LED o CFL. Para tomar la decisión de la mejor propuesta del proyecto, se realizan análisis financieros para la inclusión de ambas tecnologías de lámparas y la decisión se tomará entre las tres propuestas realizadas.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Condiciones iniciales de la empresa

La empresa electromecánica Total Protection System S. A. se ubica en la ciudad de Tibás, 325 metros al oeste de la esquina suroeste del parque de Tibás. Según el área de registro, posee unos 468,43 m². Esta presenta condiciones correctas. Se encuentra saliendo de un proceso de mejora y acomodo de sus actuales instalaciones, para otorgar el mejor confort o comodidad posible a los empleados y con un constante aseo de las instalaciones, cinco días a la semana.

Se realizaron varias visitas a la empresa para revisar las condiciones de trabajo de la empresa, algunos parámetros como el área, material y colores empleados en las diferentes oficinas (ver apéndice P). A su vez, a través de estas visitas se realizó un dibujo de planta arquitectónica para la empresa (ver apéndices V, W y X). Este dibujo facilita determinar las luminarias utilizables bajo sus condiciones iniciales.

Descripción del diseño

Se desea establecer el diseño electromecánico de un sistema para paneles fotovoltaicos que cubra la totalidad de la demanda energética de la empresa, con base en la radiación solar captable para la ubicación de la empresa y su facturación de los consumos energéticos.

Para esto se realizan tres propuestas, una que cubra en su totalidad la demanda energética de la empresa con la inclusión de paneles fotovoltaicos. Una vez realizado este diseño fotovoltaico, se realiza un análisis financiero para evaluar la rentabilidad del proyecto. Las otras dos propuestas consisten en agregar diferentes tecnologías de lámparas, que son tecnologías de diodo emisor de luz y de fluorescentes compactas, con la percepción de que la instalación de estas luminarias permitirá un gasto menor de energía consumida por la empresa.

Para estas dos propuestas, se realiza un análisis del diseño de iluminación y se evalúa con el método de los lúmenes. Una vez elaborado este análisis de la iluminación, se toma el análisis financiero de la primera propuesta, que incluirá el costo de las luminarias

seleccionadas y su potencia consumida, por lo cual se podrá evaluar si existe un menor consumo energético en las diferentes tecnologías de lámparas.

Diseño fotovoltaico

Información recolectada para el análisis del sistema fotovoltaico

La siguiente tabla y figura representan el consumo eléctrico en la empresa durante un periodo de un año, conformado por los últimos 12 meses de la empresa. El periodo seleccionado representa el momento en que la empresa terminó un periodo de reorganización y terminó de establecerse. En otras palabras, este periodo representa el momento en que la empresa volvió a trabajar bajo condiciones normales. Por lo tanto, estos representan sus consumos reales de kilowatts por hora.

Consumo Energético de la empresa. Periodo Oct. 17 - Sep. 18			
#	Fecha	Consumo (kWh)	Energia
1	Oct-17	102	CRC 11,530.00
2	Nov-17	134	CRC 15,855.00
3	Dec-17	179	CRC 21,175.00
4	Ene-18	119	CRC 14,135.00
5	Feb-18	152	CRC 18,115.00
6	Mar-18	220	CRC 26,220.00
7	Abr-18	180	CRC 21,450.00
8	May-18	261	CRC 31,105.00
9	Jun-18	371	CRC 44,215.00
10	Jul-18	200	CRC 24,195.00
11	Aug-18	763	CRC 93,215.00
12	Sep-18	889	CRC 108,610.00
Total		3570	CRC 429,820.00

Tabla 1. Consumo energético de la empresa. Periodo oct. 17-set. 18

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

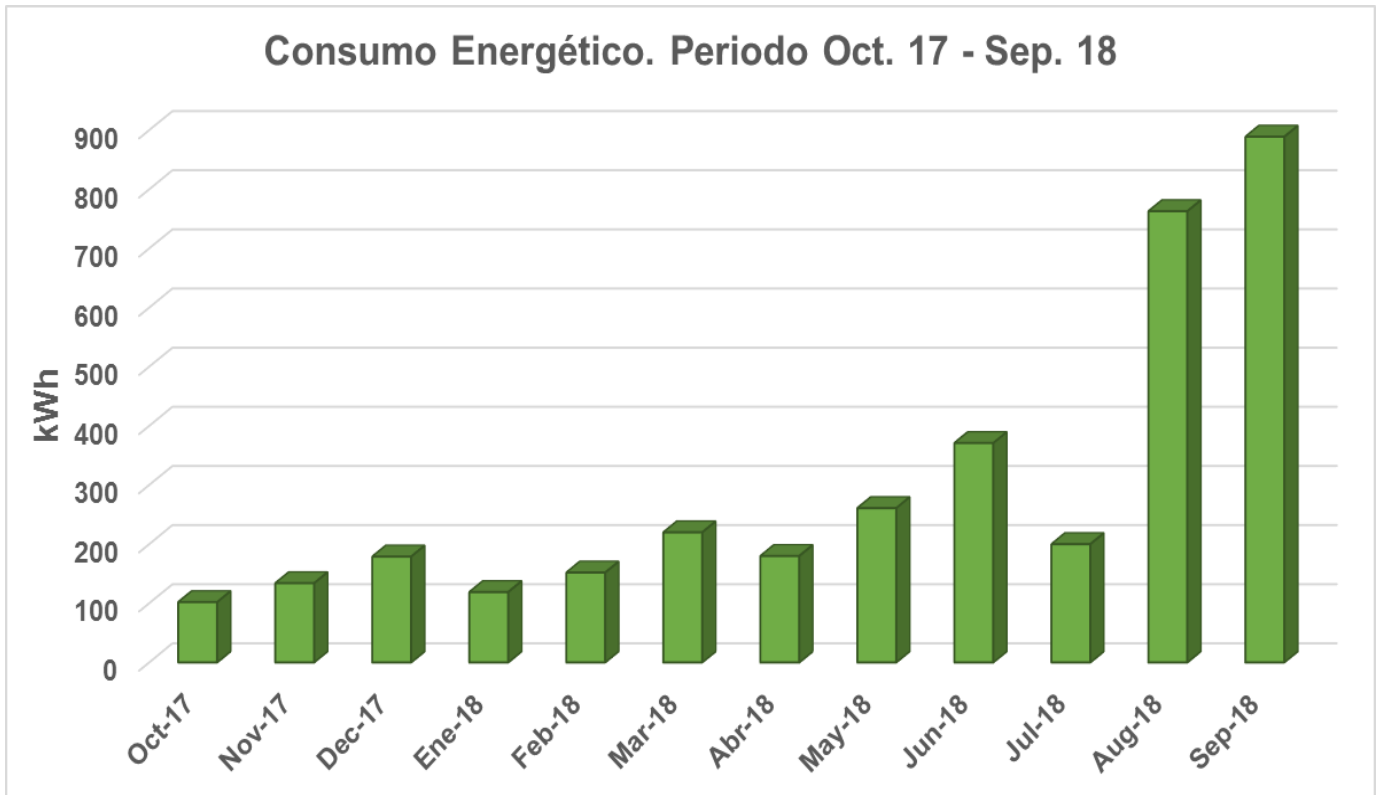


Figura 11. Consumo eléctrico de la empresa en los últimos seis meses del 2018

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó previamente, para el desarrollo de este diseño de sistemas fotovoltaicos se utiliza el mes de mayor consumo de energía eléctrica en la empresa.

Esto se realiza para garantizar la condición de mayor abastecimiento necesario para su punto de mayor consumo eléctrico. Gracias a esta tabla y figura se puede determinar con facilidad que el mes de mayor consumo corresponde a setiembre, con 889 kWh.

La información de las horas solares pico, como se comentó previamente en el capítulo III, el del marco metodológico, en la sección de “Proceso para la recolección y análisis de datos”, esta información es recopilada de un programa en línea del proyecto POWER de la NASA. Una vez más, este programa puede ser encontrado en el vínculo agregado en la misma sección.

Una vez ingresado al sistema como usuario, la aplicación otorga acceso a la información, por lo que se ubica a la empresa en la latitud 9.9616 y en la longitud -84.0822 (cabe destacar que estas medidas son en grados decimales). Con estos datos, la aplicación es capaz de otorgar los siguientes parámetros necesarios en una tabla y gráfico:

Horas Solares Pico en el año 2017	
Mes	HSP
Jan-17	5.52
Feb-17	6.42
Mar-17	6.66
Apr-17	6.13
May-17	4.64
Jun-17	4.33
Jul-17	4.6
Aug-17	4.6
Sep-17	4.42
Oct-17	3.79
Nov-17	4.02
Dec-17	4.86
Nota:	

Tabla 2. Horas solares pico en el año 2017

Fuente: POWER de Nasa, <https://power.larc.nasa.gov>

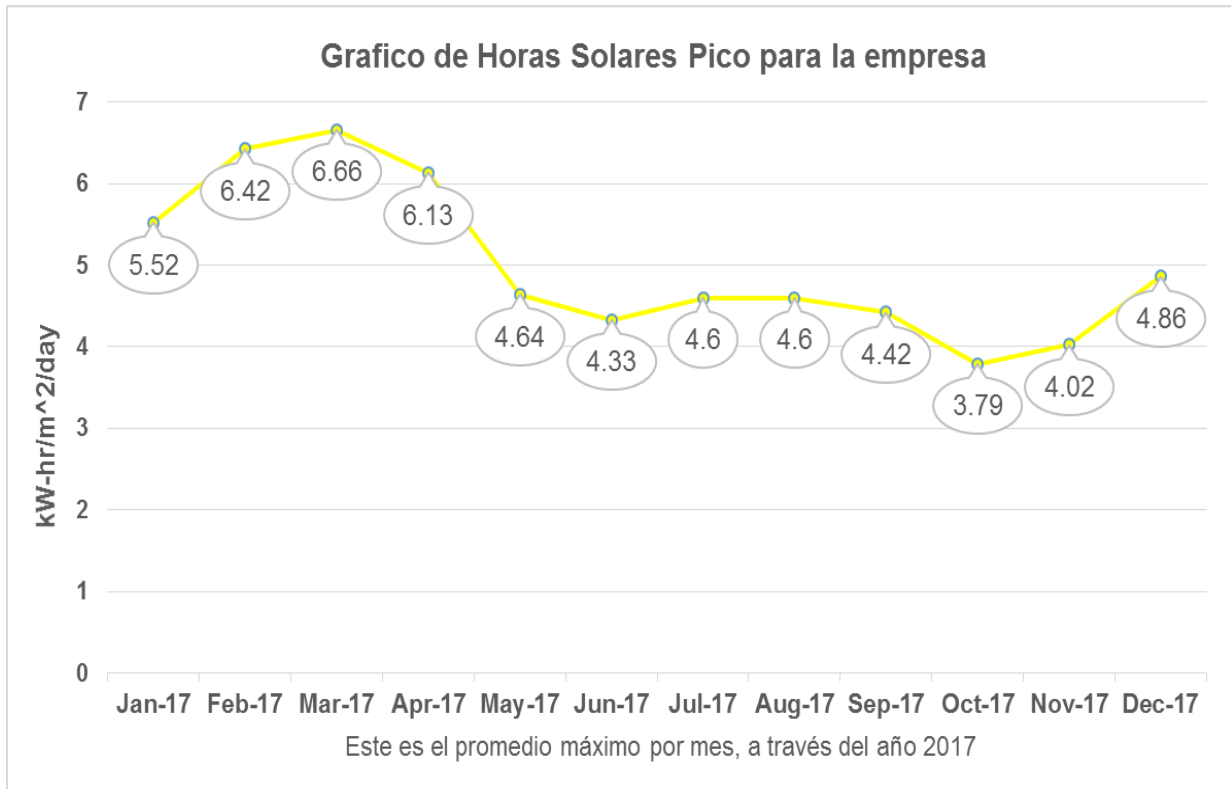


Figura 12. Horas solares pico para la empresa

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov>

Como se puede observar en la información previa, se determinan las horas solares pico de cada mes para la ubicación de la empresa. En estas se puede apreciar que el mes de menores horas solares pico es octubre, con 3,79 HSP.

Selección del panel solar

Debido a que la finalidad de este sistema fotovoltaico es cubrir la demanda energética de la empresa, se debe comenzar a establecer algunos parámetros que quedan bajo la selección del diseñador, como la selección del panel solar. Se seleccionó un panel solar con una potencia pico de 300 W. Esto debido a que, si se utiliza una mayor potencia pico, se necesitarán menos paneles fotovoltaicos y eso asegura un menor uso del área de los techos de la empresa.

Se seleccionó tecnología monocristalina para estos paneles. La selección se dio entre las tecnologías monocristalina y policristalina. Para la determinación, se vio previamente en

el marco teórico, la tecnología policristalina, debido a su fácil creación, posee un costo menor que el monocristalino. La falla de los policristalinos es que su eficiencia se ve altamente afectada por el mismo proceso de creación y el silicio utilizado. Por lo tanto, para asegurar una correcta eficiencia en el diseño del sistema se utilizará una tecnología monocristalina.

Caso 1

Cálculo del número de paneles

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda necesaria de la empresa, se vuelve a referenciar el diseño de este sistema fotovoltaico, que se basa en la toma del mes con mayor consumo eléctrico por parte de la empresa y el mes de menores horas solares pico. Con esto se efectúa el cubrimiento del mayor consumo registrado por parte de la empresa, con la menor generación posible por parte de los paneles.

La fórmula por utilizar se expuso previamente en el marco teórico bajo la sección denominada “Número de paneles”, y corresponde a la siguiente:

$$\text{Número de paneles} = \frac{E}{0.9 * W_P * HSP} \quad (3)$$

Donde:

E = Consumo energético por día, expresado en Watts por hora al día (Wh/día)

W_P = Potencia pico del panel, expresado en Watts (W)

HSP = Horas solares pico

0,9 = Coeficiente de rendimiento del panel que contempla un 10% de pérdidas

Para la aplicación de esta fórmula se tiene como consumo energético por día el mayor consumo de la empresa por mes, de 889 kWh en el mes de setiembre, por lo cual simplemente se toman los 889 kWh por mes y se dividen entre los 30 días de setiembre, para obtener los kilowatts por hora al día. Si fuese otro mes, por ejemplo, agosto, se tomarían 31 días. La potencia pico del panel corresponde a 300 watts y las horas solares pico corresponde a 3,79 HSP. Con esto se aplica la fórmula:

$$\text{Número de paneles} = \frac{\left(\frac{889 \text{ kWh} - \text{mes}}{30 \text{ días}}\right)}{0,9 * 300\text{W} * 3,79 \text{ HSP}}$$

$$\text{Número de paneles} = 29 \text{ paneles solares}$$

Con estos 29 paneles se puede conocer la cantidad total de potencia generada por ellos en un día, mediante una multiplicación entre el número de paneles y la potencia pico del panel. Por lo tanto, serán 29 paneles multiplicado por 300 W.

$$29 \text{ paneles} * 300 \text{ W} = 8700 \text{ Watts por hora}$$

Esto nos da como resultado una potencia de 8,7 kWh, la cual se utilizará para obtener la potencia generada por los paneles solares a través de cada mes del año. Para esto se tendrá que multiplicar los 8,7 kWh por los días y horas solares pico del mes correspondiente al que se desea conocer la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, para el mes de febrero del 2018:

$$8,7 \text{ kWh} * 28 \text{ días} * 6,42 \text{ HSP} = 1563,912 \text{ kiloWatts por mes}$$

Cabe destacar que esta potencia corresponde a la potencia total posible de generar por todos los paneles fotovoltaicos en un único mes. Si se desea obtener esta potencia total, pero en el periodo de un año, simplemente se debe sumar cada potencia total generable de todos los meses constituyentes de un año. Esta información será recopilada en la siguiente tabla:

Potencia generada por mes del sistema de paneles solares con potencia de 8.7 kWh			
Mes y su numero de días correspondiente		Horas Solares Pico(HSP)	Potencia Generada (kWh/mes)
Octubre	31	3.79	1022.16
Noviembre	30	4.02	1049.22
Diciembre	31	4.86	1310.74
Enero	31	5.52	1488.74
Febrero	28	6.42	1563.91
Marzo	31	6.66	1796.20
Abril	30	6.13	1599.93
Mayo	31	4.64	1251.41
Junio	30	4.33	1130.13
Julio	31	4.6	1240.62
Agosto	31	4.6	1240.62
Setiembre	30	4.42	1153.62
Total	365	-	15847.31
Notas:			

Tabla 3. Potencia generada por mes de sistema de paneles solares con potencia de 8,7 kWh

Fuente: elaboración propia

Gracias al cuadro anterior, se puede apreciar que el total de los kilowatts por hora producidos por los paneles solares al año es de 15 847,31 kWh. En la tabla 1, que presenta el consumo energético entre octubre del 2017 y setiembre del 2018, podemos obtener el consumo total de la empresa, de 3 570 kWh. Se pasa a dividir la potencia generada, de 15

847,31 kWh entre la potencia consumida de 3 570 kWh, para conocer la relación que existe entre estas potencias.

$$\text{Relación entre potencia generada y consumida} = \frac{15\,847,31 \text{ kWh}}{3\,570 \text{ kWh}} = 4,44$$

Este número de 4,44 significa que la potencia generada por el sistema fotovoltaico es 4,44 veces mayor que la potencia consumida por la empresa. Esto indica que 15 847,311 kWh corresponde a un cálculo de sobreproducción en la energía capaz de generar con los paneles.

Debido a que, hasta este punto del análisis, a la hora de realizar estos cálculos y verificar su resultado, se identifica una problemática en la fórmula realizada, pues implica una sobreproducción de energía, se realizará un ajuste en la fórmula para calcular el número de paneles y cubrir la demanda de la empresa, que es la finalidad de esta investigación.

Con el ajuste, se necesitará una menor cantidad de paneles solares para cubrir el consumo energético de la empresa, asegurando la necesidad de una menor área para su instalación y, por ende, un menor costo para la compañía.

Ya que se desea cubrir el 100% de la demanda eléctrica de la empresa, la fórmula previa para el número de paneles puede ser reacomodada, debido a que la anterior presenta un cálculo desproporcionado.

La fórmula se ajusta para calcular la potencia generada por los paneles que cubra el 100% del consumo, para lo cual se dividirá el consumo de potencia total de la empresa entre una sumatoria, que consiste en la multiplicación de los días de un mes con su hora solar pico correspondiente, para un periodo de 12 meses. Para una mejor comprensión se desarrollará esta fórmula:

$$P_{\text{Generada-Paneles}} = \frac{\text{Consumo total (kWh)}}{\sum(\#días * HSP/mes)}$$

$$\text{Consumo total} = 3\,570 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned}
& \sum (\#días * HSP/mes) \\
& = (31 * 5,52) + (28 * 6,42) + (31 * 6,66) + (30 * 6,13) + (31 * 4,64) \\
& + (30 * 4,33) + (31 * 4,6) + (31 * 4,6) + (30 * 4,42) + (31 * 3,79) \\
& + (30 * 4,02) + (31 * 4,86) \\
& \sum (\#días * HSP/mes) = 1\,821,53
\end{aligned}$$

$$P_{Generada-Paneles} = \frac{3570 \text{ kWh}}{1821,53} = 1959,89 \text{ Wh}$$

Con esto obtenemos la nueva potencia de los paneles para completar el 100% de la demanda. Para obtener una cantidad de paneles solares se divide esta potencia generable por los paneles, entre la potencia pico del panel por utilizar.

$$\text{Número de paneles nuevo} = \frac{1\,959,89 \text{ Wh}}{300 \text{ W}} = 6,53 = 7 \text{ paneles solares}$$

Para cubrir el 100% de la demanda obtenemos un resultado de 7 paneles solares en total, con una potencia pico de 300 W. Para evaluar esto, se presenta la siguiente tabla:

Generación Fotovoltaica con sistema de 1.95 kWh y su relación al consumo de la empresa			
Mes	Energía		
	Potencia Generada (kWh)	Consumo (kWh)	Exceso o Faltantes al mes (kWh)
Octubre	230.27	102	128
Noviembre	236.36	134	102
Diciembre	295.28	179	116
Enero	335.38	119	216
Febrero	352.31	152	200
Marzo	404.64	220	185
Abril	360.42	180	180
Mayo	281.91	261	21
Junio	254.59	371	(-116)
Julio	279.48	200	79
Agosto	279.48	763	(-484)
Setiembre	259.88	889	(-629)
Total	3570.00	3570	0
Notas:			

Tabla 4. Generación fotovoltaica con sistema de 1,95 kWh y su relación con el consumo de la empresa

Fuente: elaboración propia

Colocación de los paneles en el tejado de la empresa

Las diferentes estructuras disponibles para la colocación de paneles fotovoltaicos se presentaron en la sección *Estructuras para los paneles solares*. Para este diseño, se desea colocar todos los paneles en el mismo tipo de estructura y se puede apreciar en los apéndices

A y N, una imagen aérea de la empresa y el área disponible para la colocación de los paneles dibujado en AutoCAD.

Como se aprecia en el apéndice A, la colocación de la empresa con respecto a los puntos cardinales es muy favorable, debido a que se encuentra de este a oeste. Para la colocación de estos paneles, se desea emplear una estructura coplanar, denominada por el proveedor para techo o cubierta plana. Esta estructura de cubierta plana posee triángulos adaptables para la inclinación deseada y soporta la colocación de cuatro paneles solares y una representación de la estructura puede ser apreciada en el apéndice L. Cabe destacar que esta es una representación, puesto que la estructura elegida para este diseño posee la capacidad de colocar cuatro paneles solares, siendo de la misma forma de construcción, pero con la diferencia de una mayor cantidad de partes.

Selección de inversor

Se tiene que el diseño de este sistema conformado por siete paneles solares genera una potencia de 1,95 kWh; por lo tanto, se necesitará un inversor mayor, que soporte una potencia superior a 1,95 kWh. Debido a que se trabajara con siete paneles solares, se elige un inversor central, el cual corresponde a un inversor de 2,5 kWh. Esto permite un espacio para el crecimiento de 5 kWh con respecto a los 1,95 kWh generados al año, posee una garantía de cinco años y puede ser apreciado en el apéndice J y K.

Caso 2

Cálculo del número de paneles solares

La teoría detrás de la creación de este caso número 2 se fundamenta en cubrir el 100% de la demanda energética. De igual manera que el caso para la empresa, pero con el cambio de utilizar microinversor. Esto se realiza para dar una comparación de costos. Por lo tanto, el número de paneles solares para este caso es igual al caso 1, de siete paneles solares.

Colocación de los paneles en el tejado de la empresa

Para este caso, se tendrá la misma potencia de generación que el caso número 1; por lo tanto, esta será de 1 959,89 watts por hora. Además, se tiene el número idéntico de los siete paneles solares. Por lo tanto, se tendrá la misma colocación en el techo que el caso 1.

Selección del microinversor

Se tiene que el diseño de este sistema conformado por siete paneles, generan una potencia de 1,95 kWh; por lo tanto, se necesitará implementar siete microinversores para cada uno de estos paneles fotovoltaicos. El microinversor tiene que soportar una potencia de entrada, como mínimo, de 300 W. Para este caso número 2, se elige un microinversor, que corresponde a un microinversor ChiliconPower, el cual permite la conexión de paneles de 300 W, posee una garantía de cinco años y este puede ser apreciado en el apéndice Z y AA.

Caso 3

Para realizar este caso, se desea colocar la máxima cantidad de paneles en el techo de la empresa, por lo que se debe conocer el área disponible para su colocación, asegurando su óptimo funcionamiento. Se tomaron medidas del techo y se calculó los puntos de penumbra donde la sombra de edificaciones colaterales no permite que se coloquen los paneles solares.

Esto se puede apreciar en el apéndice N. El área óptima disponible en el techo de la empresa es de 142 m². Dejando un espacio de 1,8 metros entre cada línea de paneles, se tendrá una cantidad de 24 paneles solares. Una representación de su colocación se puede ver en la siguiente figura:

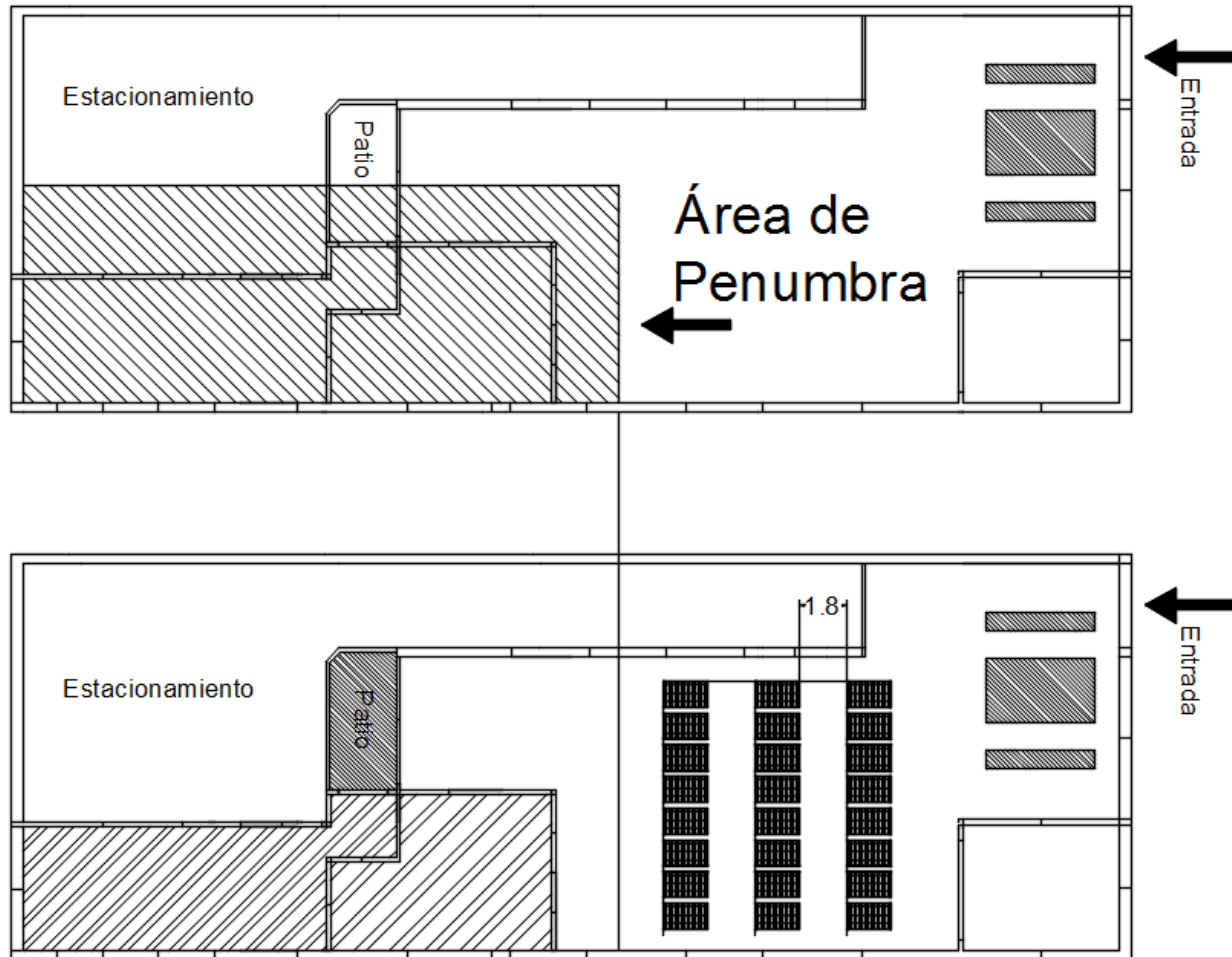


Figura 13. Colocación de paneles al 100% del área permitida.

Fuente: elaboración propia

El primer dibujo arquitectónico representa el área de penumbra, la cual corresponde a un área donde la luz no es capaz de llegar de una forma constante. Esto sucede debido a los edificios adyacentes al área de la empresa. Esta área corresponde a un aproximado calculado.

La segunda planta arquitectónica corresponde a la utilización del 100% del área disponible del techo, tomando una distancia de 1.8 m entre paneles para dar un óptimo uso de los paneles sin sombras incidentes entre sus estructuras.

El área no utilizada cerca de la entrada de la empresa corresponde un tejado de garaje y no forma parte la estructura firme de la estructura principal de la empresa, por lo cual puede

causar problemas con soportar la instalación de la estructura con los paneles fotovoltaicos y se omite su uso.

Con esta cantidad de paneles solares, de 300 W cada uno, se puede saber la potencia total generada, multiplicando la cantidad de paneles por su potencia pico.

$$24 \text{ paneles} * 300 \text{ W} = 7,20 \text{ kilowatts por hora}$$

Con esta potencia se puede realizar una tabla similar a la tabla 3, para conocer la potencia generada por mes para este sistema de paneles solares con 7,2 kWh y se compara con respecto al consumo de la empresa.

Generación Fotovoltaica con sistema de 7.2 kWh y su relación al consumo de la empresa			
Mes	Potencia Generada (kWh)	Consumo (kWh)	Exceso o Faltantes al mes (kWh)
Octubre	845.93	102	743.93
Noviembre	868.32	134	734.32
Diciembre	1084.75	179	905.75
Enero	1232.06	119	1113.06
Febrero	1294.27	152	1142.27
Marzo	1486.51	220	1266.51
Abril	1324.08	180	1144.08
Mayo	1035.65	261	774.65
Junio	935.28	371	564.28
Julio	1026.72	200	826.72
Agosto	1026.72	763	263.72
Setiembre	954.72	889	65.72
Total	13115.02	3570	9545.02
Notas:			

Figura 14. Generación Fotovoltaica con sistema de 7.2 kWh y su relación al consumo de la empresa.

Fuente: elaboración propia

Selección de inversor

Para la sección del inversor central, se tienen 24 paneles solares, con una potencia de 300 W cada uno. Por lo tanto, se realiza una multiplicación y se obtiene una potencia de 7200 watts. Con esto se elige un inversor central de 7,7 kW.

Caso 4

Cálculo del número de paneles solares

Este diseño busca utilizar el 100% del área del techo disponible para la colocación de paneles solares pero con la instalación de micro inversor. Trabaja a 7.2 kW calculados en la sección del caso 3, por lo cual para el número de paneles se utilizarán los mismos 24 paneles solares del caso 3.

Colocación de los paneles en el tejado de la empresa.

Estos 24 paneles solares serán acomodados de la misma manera que el caso 3, aprovechando la distancia entre filas de paneles de 1.8 m, esto una vez más se realiza para asegurar que no haya sombras en los paneles por las estructuras coplanares de los paneles cercanos.

Selección del microinversor

Para este caso número 4, se tiene el mismo diseño del caso 3 de 24 paneles solares con una potencia de 300 W cada uno. Para lo cual se necesitara 24 micro inversor, se trabajara con el mismo micro inversor del caso número 2, el cual posee una garantía de 5 años (apéndice Z y AA).

Análisis financiero para diseño fotovoltaico

Análisis financiero del diseño fotovoltaico, caso 1

Para la realización de estos cálculos financieros se dirige a la norma de generación distribuida Poasen.

Primero, se busca conocer el ahorro anual que se genera. Por tanto, en los apéndices C, D y E se puede apreciar información necesaria para la realización de este análisis, como son la potencia consumida, las tarifas de energía de la CNFL, las tarifas de acceso para la energía propia bajada de la red, la potencia consumida por la empresa y el monto total de sus facturas sin la inclusión de sistemas fotovoltaicos.

Primero, se toma la potencia consumida por la empresa y la potencia generada por los paneles. Si se da una potencia sobrante, esta se puede almacenar para los siguientes meses, cuando se necesite bajar de la red a una tarifa especial (ver apéndice E).

Cuando se desea bajar una potencia propia de la red, solo se puede bajar el 49% de la energía subida. Según el caso, se puede llegar a que se necesite más energía para cubrir la demanda que la generada o almacena, se deberá tomar energía directamente de la red a su tarifa original (ver apéndice D).

Con estos datos, se puede llegar a cuantificar el resultado de la facturación de la empresa con paneles. Esto nos permitirá evaluar el valor total de la facturación de la empresa, sin la inclusión de tecnologías fotovoltaicas y la facturación resultante al incluir esta tecnología fotovoltaica.

Gracias a esta información, se genera la siguiente tabla:

Análisis de consumo energético en el periodo de 1 año						
Datos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Potencia Consumida (kWh)	119.00	152.00	220.00	180.00	261.00	371.00
Potencia Generada (kWh)	335.38	352.31	404.64	360.42	281.91	254.59
Potencia almacenada el mes previo (Wh)	0.00	216.38	416.69	601.33	781.75	802.66
Potencia sobrante subida a la Red (Wh)	216.38	200.31	184.64	180.42	20.91	0.00
Energía propia bajada de la red (49%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	116.41
Energía faltante para el consumo (Wh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	116.41
Energía directa de la red (Wh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Facturación Actual sin Paneles	CRC 17,490.00	CRC 22,190.00	CRC 31,450.00	CRC 26,440.00	CRC 37,030.00	CRC 53,610.00
Facturación con Paneles	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 2,508.64

Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
200.00	763.00	889.00	102.00	134.00	179.00
279.48	279.48	259.88	230.27	236.36	295.28
686.25	765.73	390.52	199.17	327.43	429.80
79.48	0.00	0.00	128.27	102.36	116.28
0.00	375.21	191.36	0.00	0.00	0.00
0.00	483.52	629.12	0.00	0.00	0.00
0.00	108.31	437.76	0.00	0.00	0.00
CRC 30,110.00	CRC 111,120.00	CRC 131,465.00	CRC 13,800.00	CRC 19,025.00	CRC 25,430.00
CRC 0.00	CRC 21,702.74	CRC 59,159.09	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00

Total de Facturación sin Paneles	CRC 519,160.00
Total de Facturación con Paneles	CRC 83,370.47
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 435,789.53
Energía almacenada sobrante	CRC 546.07

Tabla 5. Análisis de consumo energético en el periodo de un año.

Fuente: elaboración propia

Con esta tabla se puede apreciar que el ahorro anual es de $\text{¢}435\,789,53$. Es importante destacar que este monto no descuenta los cargos fijos de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, como lo son el alumbrado público y el tributo a los bomberos.

Para obtener el valor actual neto y la tasa interna de retorno de este diseño electromecánico, se deben establecer algunos valores, como el tipo de cambio del dólar, para conocer el monto en colones. Se utiliza un valor de cambio de dólar al 16 de setiembre del 2018.

Otros valores, como los cargos fijos que constituyen parte de la facturación eléctrica del CNFL, se pueden obtener de sumar la totalidad del costo de alumbrado público y el tributo a los bomberos (ver apéndice F), el valor de interconexión por medidor depende de la compañía (ver apéndice G), la tasa de interés de aumento aproximado de la facturación del CNFL es tomado de la página web de la empresa y corresponde a un 14,10%, por lo que cada año que se analice el ahorro anual se multiplica por esta tasa, para tener el valor con la que aumenta el ahorro anual cada año.

Los montos de mantenimiento (valor aproximado) se incluyen al valor de inversión inicial del monto total de la cotización realizada (ver apéndice M), por petición propia, debido a que muchas empresas no lo otorgan antes de elaborar o concretar un proyecto.

Se busca financiar este proyecto mediante bancos nacionales. Se buscó la mejor tasa competitiva para la realización de este proyecto. Mediante una conversación con los gerentes de la empresa, en la que se presentaron varias opciones para financiamiento, decidieron tomar la tasa del Banco Nacional para soluciones ecotecnología (ver apéndice O), mediante una hipoteca con un plazo de 20 años. Esta información es recopilada en la siguiente tabla:

Tabla Resumen de datos	
Cambio Dólar 16/9/18 ¹	\$580.28
Cargos Fijos	CRC 20,220.00
Interconexión Total	CRC 235,000.00
Tasa BN Eco Tecnología ²	15.90%
Tasa Aumento Anual Aprox.	14.10%
Costo de Mantenimiento Aprox.	CRC 60,000.00
Inversión Inicial	
Paneles Solares	CRC 1,096,729.20
Inversor Central (5 años)	CRC 812,393.00
Estructura coplanar	CRC 411,998.80
Total de Inversión Inicial	CRC 2,321,120.00
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 435,789.53
Ahorro Anual	CRC 415,569.53
Notas:	
1. El valor del cambio de dólar se toma de datos históricos del BN.	
2. El valor de Tb BCCRR es igual a 5.85 para la fecha del 16/09/18.	

Tabla 6. Tabla resumen de información importante

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, el ahorro anual consiste en unos ¢415 569,53 al año, pero este ahorro varía con respecto al tiempo. Se utilizará la información de la tabla 6 y a través de un documento de Excel, para obtener el valor actual neto y la tasa interna de retorno del proyecto.

La tasa de interés corresponde a la tasa BN Eco Tecnología, del 15,9%. Como se mencionó previamente, este ahorro varía respecto al tiempo, por lo que se indica que se trabajara con un periodo de 20 años y se usa la tasa de aumento anual aproximado que utiliza la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), consultada al 24 de setiembre del 2018, que es del 14,10%.

Se utiliza en los ahorros anuales a partir del año 2, tomando el valor del año previo y multiplicándolo por 14,10%, dando como resultado un incremento en el ahorro anual de un 14,1% cada año. Para el mantenimiento se tiene un valor cotizado de ¢60 000 al año, pero como la garantía del inversor central es de cinco años, se decide realizar el análisis suponiendo que, cumplidos estos 5 años, se cambiara el inversor central. El mantenimiento originalmente es de ¢60 000 y se incrementa en ¢812 393 cada cinco años, dando un resultado de ¢872 393. Con esa información, se genera la siguiente tabla:

Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del sistema de Paneles Fotovoltaicos Caso 1					
	Ahorro anual	Mantenimiento	Flujos Netos	Sumatoria	VAN
Año 1	CRC 415,569.53	CRC 60,000.00	CRC 355,569.53	CRC 306,789.93	CRC -2,014,330.07
Año 2	CRC 474,164.83	CRC 60,000.00	CRC 414,164.83	CRC 615,113.23	CRC -1,706,006.77
Año 3	CRC 541,022.08	CRC 60,000.00	CRC 481,022.08	CRC 924,082.09	CRC -1,397,037.91
Año 4	CRC 617,306.19	CRC 60,000.00	CRC 557,306.19	CRC 1,232,940.99	CRC -1,088,179.01
Año 5	CRC 704,346.36	CRC 872,393.00	CRC -168,046.64	CRC 1,152,586.03	CRC -1,168,533.97
Año 6	CRC 803,659.20	CRC 60,000.00	CRC 743,659.20	CRC 1,459,398.74	CRC -861,721.26
Año 7	CRC 916,975.14	CRC 60,000.00	CRC 856,975.14	CRC 1,764,457.97	CRC -556,662.03
Año 8	CRC 1,046,268.64	CRC 60,000.00	CRC 986,268.64	CRC 2,067,377.82	CRC -253,742.18
Año 9	CRC 1,193,792.52	CRC 60,000.00	CRC 1,133,792.52	CRC 2,367,835.05	CRC 46,715.05
Año 10	CRC 1,362,117.26	CRC 872,393.00	CRC 489,724.26	CRC 2,479,809.07	CRC 158,689.07
Año 11	CRC 1,554,175.80	CRC 60,000.00	CRC 1,494,175.80	CRC 2,774,579.49	CRC 453,459.49
Año 12	CRC 1,773,314.58	CRC 60,000.00	CRC 1,713,314.58	CRC 3,066,211.97	CRC 745,091.97
Año 13	CRC 2,023,351.94	CRC 60,000.00	CRC 1,963,351.94	CRC 3,354,557.67	CRC 1,033,437.67
Año 14	CRC 2,308,644.56	CRC 60,000.00	CRC 2,248,644.56	CRC 3,639,497.21	CRC 1,318,377.21
Año 15	CRC 2,634,163.45	CRC 872,393.00	CRC 1,761,770.45	CRC 3,832,115.61	CRC 1,510,995.61
Año 16	CRC 3,005,580.49	CRC 60,000.00	CRC 2,945,580.49	CRC 4,109,981.94	CRC 1,788,861.94
Año 17	CRC 3,429,367.34	CRC 60,000.00	CRC 3,369,367.34	CRC 4,384,221.40	CRC 2,063,101.40
Año 18	CRC 3,912,908.14	CRC 60,000.00	CRC 3,852,908.14	CRC 4,654,795.86	CRC 2,333,675.86
Año 19	CRC 4,464,628.19	CRC 60,000.00	CRC 4,404,628.19	CRC 4,921,680.74	CRC 2,600,560.74
Año 20	CRC 5,094,140.76	CRC 872,393.00	CRC 4,221,747.76	CRC 5,142,391.53	CRC 2,821,271.53
				TIR	3%

Tabla 7. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos.

Fuente: elaboración propia

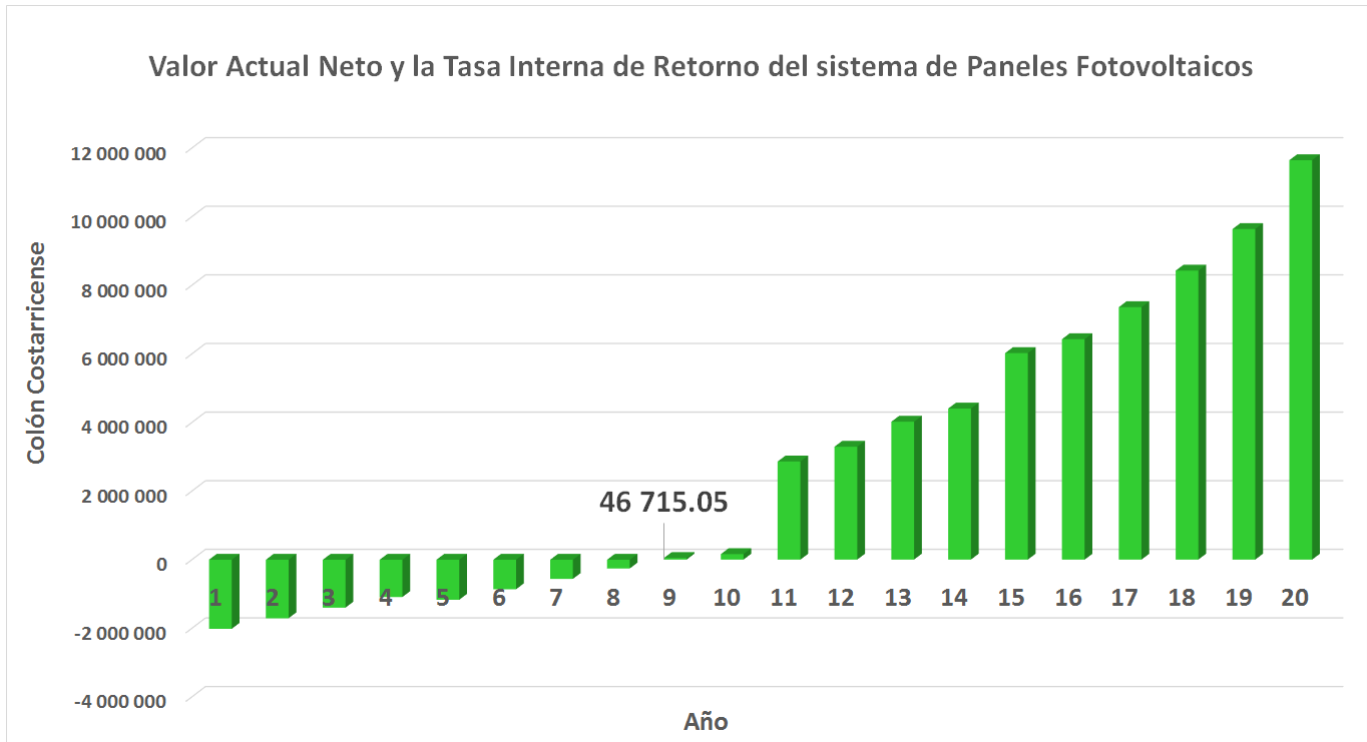


Figura 15. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos

Fuente: elaboración propia

La tabla y figura anterior representan los resultados del valor actual neto de $\text{¢}11\,644\,944,59$ y una tasa interna de retorno del 27%. También cabe destacar que la recuperación de la inversión inicial ocurre en el noveno año; luego se comienza con ganancias de manera lineal.

Caso 2

Este se basa en la misma generación que el primer caso, cambiando la tecnología de inversor central a microinversor. En el siguiente cuadro de resumen se cambia únicamente la inversión inicial y el costo de mantenimiento para que el equipo trabaje en condiciones óptimas.

Tabla Resumen de datos para Caso 2	
Cambio Dólar 16/9/18 ¹	\$580.28
Cargos Fijos	CRC 20,220.00
Interconexión Total	CRC 235,000.00
Tasa BN Eco Tecnología ²	15.90%
Tasa Aumento Anual Aprox.	14.10%
Costo de Mantenimiento Aprox.	CRC 60,000.00
Inversión Inicial	
Paneles Solares	CRC 1,096,729.20
Micro Inversor (5 años)	CRC 1,056,109.60
Estructura coplanar	CRC 411,998.80
Total de Inversión Inicial	CRC 2,564,837.60
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 435,789.53
Ahorro Anual	CRC 415,569.53
<p>Notas: 1. El valor del cambio de dólar se toma de datos históricos del BN. 2. El valor de Tb BCCRR es igual a 5.85 para la fecha del 16/09/18.</p>	

Figura 16. Tabla resumen de datos para el caso 2

Fuente: elaboración propia

En el cuadro anterior, se ve una inversión inicial de ¢9 858 957,2 y un ahorro anual de ¢415 569,53.

Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del sistema de Paneles Fotovoltaicos Caso 2					
	Ahorro anual	Mantenimiento	Flujos Netos	Sumatoria	VAN
Año 1	CRC 415,569.53	CRC 60,000.00	CRC 355,569.53	CRC 306,789.93	CRC -2,258,047.67
Año 2	CRC 474,164.83	CRC 60,000.00	CRC 414,164.83	CRC 615,113.23	CRC -1,949,724.37
Año 3	CRC 541,022.08	CRC 60,000.00	CRC 481,022.08	CRC 924,082.09	CRC -1,640,755.51
Año 4	CRC 617,306.19	CRC 60,000.00	CRC 557,306.19	CRC 1,232,940.99	CRC -1,331,896.61
Año 5	CRC 704,346.36	CRC 1,116,109.60	CRC -411,763.24	CRC 1,036,047.93	CRC -1,528,789.67
Año 6	CRC 803,659.20	CRC 60,000.00	CRC 743,659.20	CRC 1,342,860.64	CRC -1,221,976.96
Año 7	CRC 916,975.14	CRC 60,000.00	CRC 856,975.14	CRC 1,647,919.87	CRC -916,917.73
Año 8	CRC 1,046,268.64	CRC 60,000.00	CRC 986,268.64	CRC 1,950,839.72	CRC -613,997.88
Año 9	CRC 1,193,792.52	CRC 60,000.00	CRC 1,133,792.52	CRC 2,251,296.96	CRC -313,540.64
Año 10	CRC 1,362,117.26	CRC 1,116,109.60	CRC 246,007.66	CRC 2,307,545.89	CRC -257,291.71
Año 11	CRC 1,554,175.80	CRC 60,000.00	CRC 1,494,175.80	CRC 2,602,316.31	CRC 37,478.71
Año 12	CRC 1,773,314.58	CRC 60,000.00	CRC 1,713,314.58	CRC 2,893,948.78	CRC 329,111.18
Año 13	CRC 2,023,351.94	CRC 60,000.00	CRC 1,963,351.94	CRC 3,182,294.49	CRC 617,456.89
Año 14	CRC 2,308,644.56	CRC 60,000.00	CRC 2,248,644.56	CRC 3,467,234.02	CRC 902,396.42
Año 15	CRC 2,634,163.45	CRC 1,116,109.60	CRC 1,518,053.85	CRC 3,633,206.33	CRC 1,068,368.73
Año 16	CRC 3,005,580.49	CRC 60,000.00	CRC 2,945,580.49	CRC 3,911,072.66	CRC 1,346,235.06
Año 17	CRC 3,429,367.34	CRC 60,000.00	CRC 3,369,367.34	CRC 4,185,312.12	CRC 1,620,474.52
Año 18	CRC 3,912,908.14	CRC 60,000.00	CRC 3,852,908.14	CRC 4,455,886.58	CRC 1,891,048.98
Año 19	CRC 4,464,628.19	CRC 60,000.00	CRC 4,404,628.19	CRC 4,722,771.46	CRC 2,157,933.86
Año 20	CRC 5,094,140.76	CRC 1,116,109.60	CRC 3,978,031.16	CRC 4,930,740.87	CRC 2,365,903.27
				TIR	-1%

*Tabla 8. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos
caso 2*

Fuente: elaboración propia

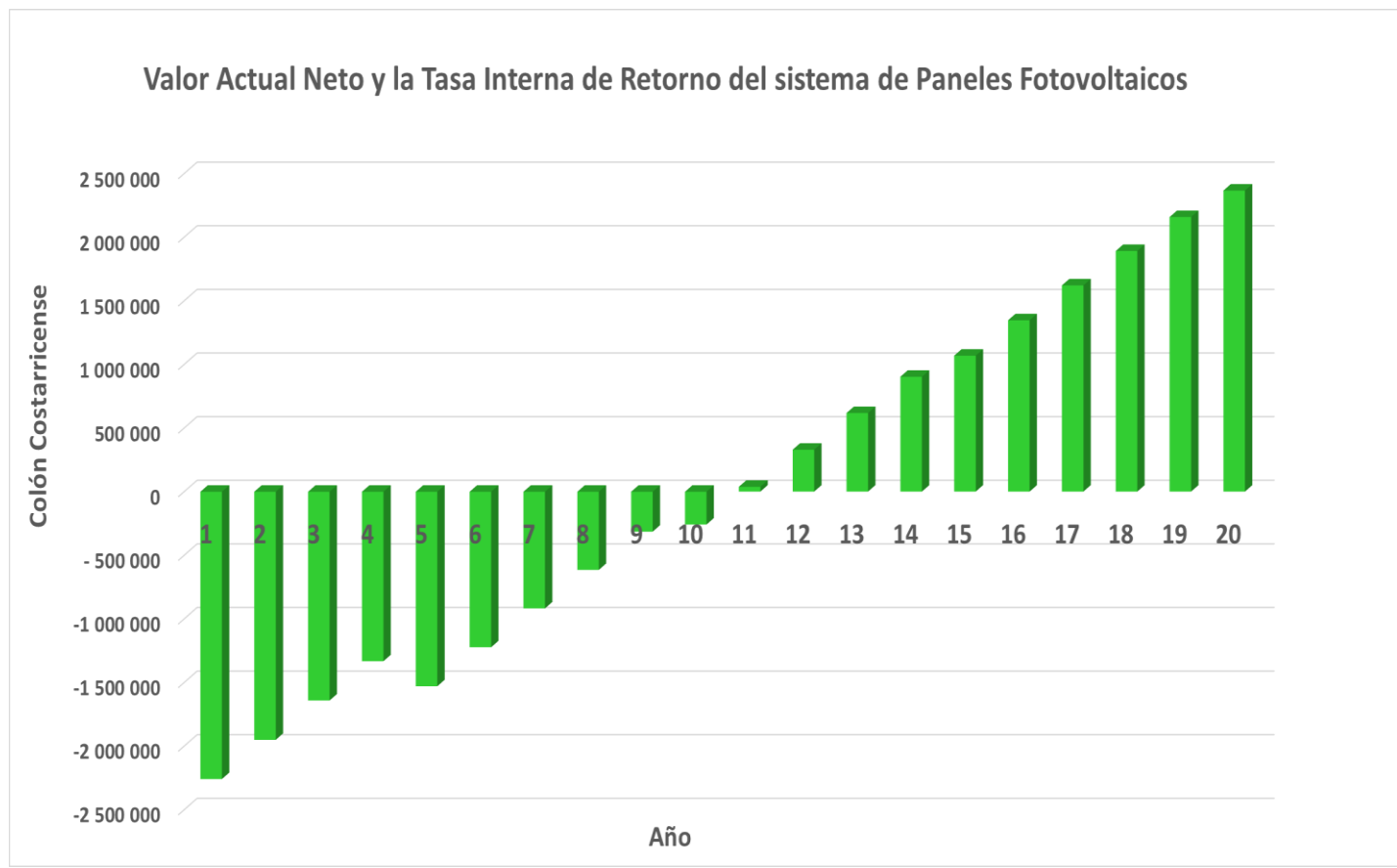


Figura 17. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos caso 2

Fuente: elaboración propia

Caso 3

Para analizar el caso 3, se debe conocer que este diseño se basa en la utilización del 100% del área disponible para la colocación de la mayor cantidad posible de paneles solares. Este caso, determina que el número de paneles por colocar corresponde a 24 y una potencia de 7 200 watts. Por lo cual, se necesita realizar un análisis de su consumo energético comparado con la generación de energía de este sistema, para lo cual se tiene la siguiente tabla:

Análisis de consumo energético en el periodo de 1 año Caso 3						
Datos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Potencia Consumida (kWh)	119.00	152.00	220.00	180.00	261.00	371.00
Potencia Generada (kWh)	1232.064	1294.272	1486.512	1324.08	1035.648	935.28
Potencia almacenada el mes previo (Wh)	0.00	1113.06	2255.34	3521.85	4665.93	5440.58
Potencia sobrante subida a la Red (Wh)	1113.06	1142.27	1266.51	1144.08	774.65	564.28
Energía propia bajada de la red (49%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Energía faltante para el consumo (Wh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Energía directa de la red (Wh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Facturación Actual sin Paneles	CRC 17,490.00	CRC 22,190.00	CRC 31,450.00	CRC 26,440.00	CRC 37,030.00	CRC 53,610.00
Facturación con Paneles	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00

Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
200.00	763.00	889.00	102.00	134.00	179.00
1026.72	1026.72	954.72	230.27	236.36	295.28
6004.86	6831.58	7095.30	7161.02	7289.28	7391.65
826.72	263.72	65.72	128.27	102.36	116.28
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CRC 30,110.00	CRC 111,120.00	CRC 131,465.00	CRC 13,800.00	CRC 19,025.00	CRC 25,430.00
CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00

Total de Facturación sin Paneles	CRC 519,160.00
Total de Facturación con Paneles	CRC 0.00
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 519,160.00
Energía almacenada sobrante	CRC 7,507.92

Tabla 9. Análisis de consumo energético en el periodo de un año, caso 3

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver en la tabla previa, se comparan la potencia consumida por la empresa y la potencia generada por el sistema de paneles fotovoltaicos de 7 200 watts. Se llega a determinar que se cubre la demanda de energía por parte de la empresa, generando un ahorro anual de ¢519 160.

Tabla Resumen de datos para Caso 3	
Cambio Dólar 16/9/18 ¹	\$580.28
Cargos Fijos	CRC 20,220.00
Interconexión Total	CRC 235,000.00
Tasa BN Eco Tecnología ²	15.90%
Tasa Aumento Anual Aprox.	14.10%
Costo de Mantenimiento Aprox.	CRC 60,000.00
Inversión Inicial	
Paneles Solares	CRC 3,760,214.40
Inversor (5 años)	CRC 1,276,616.00
Estructura coplanar	CRC 1,235,996.40
Total de Inversión Inicial	CRC 6,272,826.80
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 519,160.00
Ahorro Anual	CRC 498,940.00
<p>Notas: 1. El valor del cambio de dólar se toma de datos históricos del BN. 2. El valor de Tb BCCRR es igual a 5.85 para la fecha del 16/09/18.</p>	

Tabla 10. Tabla resumen de datos para caso 3

Fuente: elaboración propia

En la tabla previa se puede detallar que el costo de los paneles solares y su estructura coplanar incrementan, debido a que la cantidad de paneles es mayor que otros casos previos, siendo este de 24 piezas.

Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del sistema de Paneles Fotovoltaicos Caso 3					
	Ahorro anual	Mantenimiento	Flujos Netos	Sumatoria	VAN
Año 1	CRC 415,569.53	CRC 60,000.00	CRC 355,569.53	CRC 306,789.93	CRC -5,966,036.87
Año 2	CRC 474,164.83	CRC 60,000.00	CRC 414,164.83	CRC 615,113.23	CRC -5,657,713.57
Año 3	CRC 541,022.08	CRC 60,000.00	CRC 481,022.08	CRC 924,082.09	CRC -5,348,744.71
Año 4	CRC 617,306.19	CRC 60,000.00	CRC 557,306.19	CRC 1,232,940.99	CRC -5,039,885.81
Año 5	CRC 704,346.36	CRC 1,336,616.00	CRC -632,269.64	CRC 930,608.27	CRC -5,342,218.53
Año 6	CRC 803,659.20	CRC 60,000.00	CRC 743,659.20	CRC 1,237,420.97	CRC -5,035,405.83
Año 7	CRC 916,975.14	CRC 60,000.00	CRC 856,975.14	CRC 1,542,480.20	CRC -4,730,346.60
Año 8	CRC 1,046,268.64	CRC 60,000.00	CRC 986,268.64	CRC 1,845,400.06	CRC -4,427,426.74
Año 9	CRC 1,193,792.52	CRC 60,000.00	CRC 1,133,792.52	CRC 2,145,857.29	CRC -4,126,969.51
Año 10	CRC 1,362,117.26	CRC 1,336,616.00	CRC 25,501.26	CRC 2,151,688.08	CRC -4,121,138.72
Año 11	CRC 1,554,175.80	CRC 60,000.00	CRC 1,494,175.80	CRC 2,446,458.50	CRC -3,826,368.30
Año 12	CRC 1,773,314.58	CRC 60,000.00	CRC 1,713,314.58	CRC 2,738,090.97	CRC -3,534,735.83
Año 13	CRC 2,023,351.94	CRC 60,000.00	CRC 1,963,351.94	CRC 3,026,436.68	CRC -3,246,390.12
Año 14	CRC 2,308,644.56	CRC 60,000.00	CRC 2,248,644.56	CRC 3,311,376.21	CRC -2,961,450.59
Año 15	CRC 2,634,163.45	CRC 1,336,616.00	CRC 1,297,547.45	CRC 3,453,240.05	CRC -2,819,586.75
Año 16	CRC 3,005,580.49	CRC 60,000.00	CRC 2,945,580.49	CRC 3,731,106.38	CRC -2,541,720.42
Año 17	CRC 3,429,367.34	CRC 60,000.00	CRC 3,369,367.34	CRC 4,005,345.84	CRC -2,267,480.96
Año 18	CRC 3,912,908.14	CRC 60,000.00	CRC 3,852,908.14	CRC 4,275,920.31	CRC -1,996,906.49
Año 19	CRC 4,464,628.19	CRC 60,000.00	CRC 4,404,628.19	CRC 4,542,805.19	CRC -1,730,021.61
Año 20	CRC 5,094,140.76	CRC 1,336,616.00	CRC 3,757,524.76	CRC 4,739,246.64	CRC -1,533,580.16
				TIR	X %

Figura 18. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 3

Fuente: elaboración propia

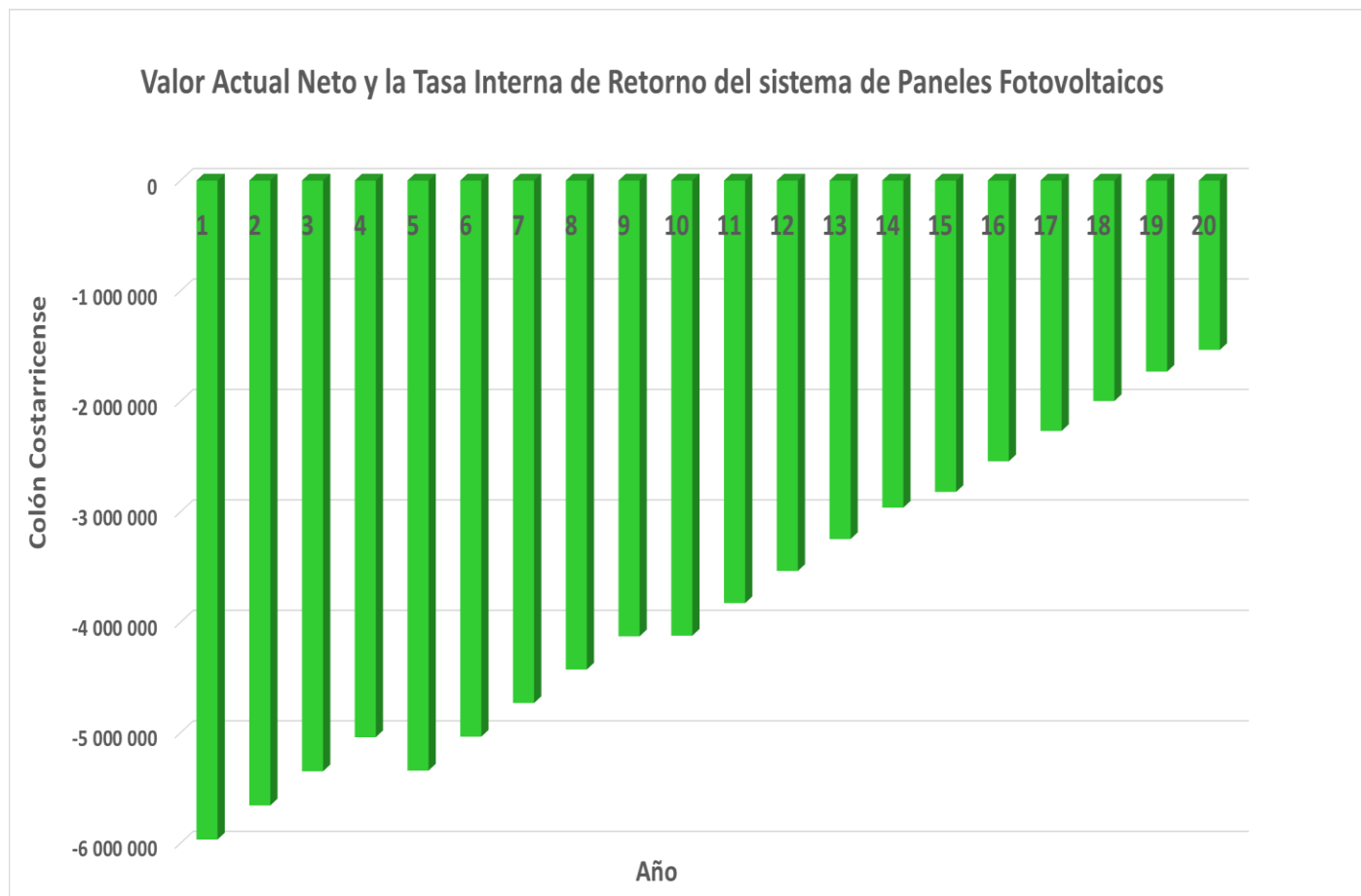


Figura 19. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 3

Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en la figura previa, con este caso 3 no se puede lograr un ahorro estable a través de los años, debido a que el costo del sistema es elevado y esto se incrementa cuando el inversor es cambiado cada cinco años, implicando un gasto fijo cada quinquenio de $\text{¢}1\,276\,616$ y con un ahorro anual de $\text{¢}498\,940$ no se es capaz de recuperar esta inversión inicial.

Caso 4

Este caso se conceptualiza en el mismo caso 3, teniendo la misma cantidad de 24 paneles solares, con una potencia de 7 200 watts, pero con la integración de microinversores para su evaluación económica.

Tabla Resumen de datos para Caso 4	
Cambio Dólar 16/9/18 ¹	\$580.28
Cargos Fijos	CRC 20,220.00
Interconexión Total	CRC 235,000.00
Tasa BN Eco Tecnología ²	15.90%
Tasa Aumento Anual Aprox.	14.10%
Costo de Mantenimiento Aprox.	CRC 60,000.00
Inversión Inicial	
Paneles Solares	CRC 3,760,214.40
Micro Inversor (5 años)	CRC 5,686,744.00
Estructura coplanar	CRC 411,998.80
Total de Inversión Inicial	CRC 9,858,957.20
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 435,789.53
Ahorro Anual	CRC 415,569.53
Notas: 1. El valor del cambio de dólar se toma de datos historicos del BN. 2. El valor de Tb BCCR es igual a 5.85 para la fecha del 16/09/18.	

Figura 20. Tabla resumen de datos para caso 4

Fuente: elaboración propia

La tabla previa es muy similar a la del caso 3, debido a que esta posee el mismo ahorro anual, número de paneles solares y, por ende, mismo costo para la estructura de los paneles, pero este varía en el costo de los microinversores, pues necesitaría 24 de ellos.

Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del sistema de Paneles Fotovoltaicos Caso 4					
	Ahorro anual	Mantenimiento	Flujos Netos	Sumatoria	VAN
Año 1	CRC 415,569.53	CRC 60,000.00	CRC 355,569.53	CRC 306,789.93	CRC -8,310,368.07
Año 2	CRC 474,164.83	CRC 60,000.00	CRC 414,164.83	CRC 615,113.23	CRC -8,002,044.77
Año 3	CRC 541,022.08	CRC 60,000.00	CRC 481,022.08	CRC 924,082.09	CRC -7,693,075.91
Año 4	CRC 617,306.19	CRC 60,000.00	CRC 557,306.19	CRC 1,232,940.99	CRC -7,384,217.01
Año 5	CRC 704,346.36	CRC 1,336,616.00	CRC -632,269.64	CRC 930,608.27	CRC -7,686,549.73
Año 6	CRC 803,659.20	CRC 60,000.00	CRC 743,659.20	CRC 1,237,420.97	CRC -7,379,737.03
Año 7	CRC 916,975.14	CRC 60,000.00	CRC 856,975.14	CRC 1,542,480.20	CRC -7,074,677.80
Año 8	CRC 1,046,268.64	CRC 60,000.00	CRC 986,268.64	CRC 1,845,400.06	CRC -6,771,757.94
Año 9	CRC 1,193,792.52	CRC 60,000.00	CRC 1,133,792.52	CRC 2,145,857.29	CRC -6,471,300.71
Año 10	CRC 1,362,117.26	CRC 1,336,616.00	CRC 25,501.26	CRC 2,151,688.08	CRC -6,465,469.92
Año 11	CRC 1,554,175.80	CRC 60,000.00	CRC 1,494,175.80	CRC 2,446,458.50	CRC -6,170,699.50
Año 12	CRC 1,773,314.58	CRC 60,000.00	CRC 1,713,314.58	CRC 2,738,090.97	CRC -5,879,067.03
Año 13	CRC 2,023,351.94	CRC 60,000.00	CRC 1,963,351.94	CRC 3,026,436.68	CRC -5,590,721.32
Año 14	CRC 2,308,644.56	CRC 60,000.00	CRC 2,248,644.56	CRC 3,311,376.21	CRC -5,305,781.79
Año 15	CRC 2,634,163.45	CRC 1,336,616.00	CRC 1,297,547.45	CRC 3,453,240.05	CRC -5,163,917.95
Año 16	CRC 3,005,580.49	CRC 60,000.00	CRC 2,945,580.49	CRC 3,731,106.38	CRC -4,886,051.62
Año 17	CRC 3,429,367.34	CRC 60,000.00	CRC 3,369,367.34	CRC 4,005,345.84	CRC -4,611,812.16
Año 18	CRC 3,912,908.14	CRC 60,000.00	CRC 3,852,908.14	CRC 4,275,920.31	CRC -4,341,237.69
Año 19	CRC 4,464,628.19	CRC 60,000.00	CRC 4,404,628.19	CRC 4,542,805.19	CRC -4,074,352.81
Año 20	CRC 5,094,140.76	CRC 1,336,616.00	CRC 3,757,524.76	CRC 4,739,246.64	CRC -3,877,911.36
				TIR	X %

Tabla 11. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 4

Fuente: elaboración propia

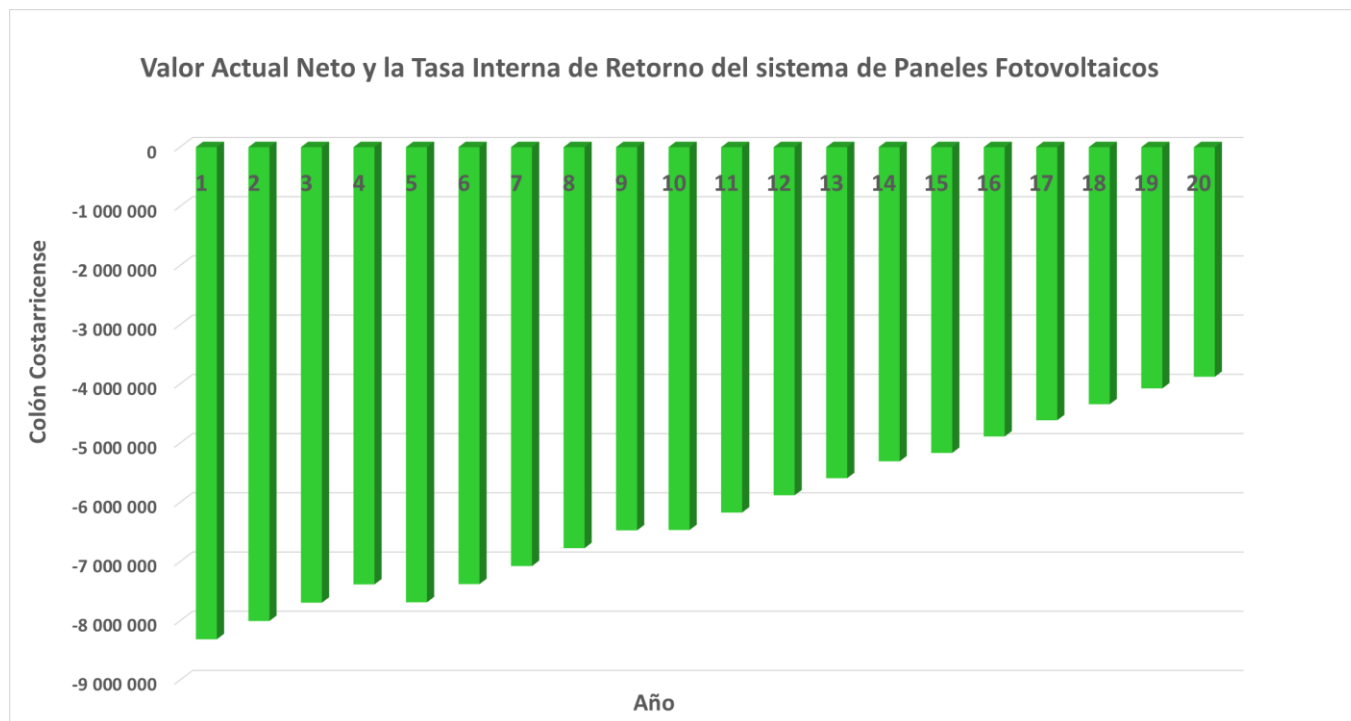


Figura 21. Valor actual neto y la tasa interna de retorno del sistema de paneles fotovoltaicos, caso 4.

Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en la figura y tablas anteriores, con este caso 4 no se puede lograr un ahorro estable a través de los años, debido a que el costo del sistema en el caso 3 ya es elevado y esto se incrementa cuando se utilizan microinversores que necesitan ser cambiados cada cinco años. Eso implica un gasto fijo cada quinquenio de $\text{¢}1\,276\,616$ y con un ahorro anual de $\text{¢}498\,940$ no se es capaz de recuperar esta inversión inicial.

Diagrama unifilar

Para la realización de este diagrama unifilar para los paneles solares, primero se deberá establecer el tipo de conexión que se les dará a los paneles. Se establece una conexión en serie, lo que indica que la corriente será la misma en todo el circuito. De acuerdo con el panel elegido (apéndice I), este posee un máximo voltaje por sistema equivalente a $1\,000\text{ V}$ y por cada panel se tiene un voltaje máximo de $32,5\text{ V}$. Por esto, se multiplica el número de

paneles por 32,5 V y esto nos da 227,5 V, lo cual es aceptable para el límite de 1 000 V de los paneles. Esto implica que los siete paneles se pueden conectar en serie.

De acuerdo con el Código Eléctrico Nacional NEC 2008, el artículo 690 habla de sistemas solares fotovoltaicos y, según el artículo 690.8 (B), se debe sobredimensionar la corriente máxima del panel para que conduzca un mínimo del 125% de esta. La corriente máxima de este panel seleccionado corresponde a 9,24 A; por lo tanto, la corriente máxima sobredimensionada corresponde a 11,55 A.

De acuerdo con el artículo 310, el cual habla de conductores para instalaciones en general, se puede utilizar la tabla 310.16 para descubrir el calibre del cable. Para esta instalación se deberá colocar un cable de cobre de calibre 12 AWG 30THWN a 60 °C, el cual soporta 25 A, pero debido a que este corresponde al mínimo para instalaciones eléctricas, se utiliza este para una instalación de 11,55 A. Este cable será utilizado para la conexión de los paneles solares.

Para el inversor central se debe colocar una protección o disyuntor para proteger los equipos, en caso de un fallo o sobrecarga del sistema. Para esto, volvemos al artículo 690, específicamente el artículo 690.10 (B) del Código Eléctrico Nacional, el cual indica que se debe tomar el valor nominal de la salida del inversor para dimensionar la protección que se coloca.

El inversor central (apéndice J y K) indica que su corriente pico es de 24,3 A a 230 V. Según el artículo 240, el cual refiere a la protección contra sobre corriente, utilizando el artículo 240.6 (A) se utilizaría una protección o disyuntor de 30 A en la salida del inversor central.

De acuerdo con la salida AC del inversor, se debe calcular el cable, igualmente sobredimensionando a un 125%. Para esto se toma la corriente de 24,3 A y se multiplica por el 125%; esto da un resultado de 30,375 A. Con este amperaje, en la tabla 310.16 del NEC se necesitará un cable de calibre 8 AWG THWN a 60 °C, que soporta 40 A.

Para el cableado que entra al tablero del medidor, se utiliza la corriente pico del inversor de 24,3 A y se sobredimensiona al 125%. Esto da un resultado de 30,375 A; por lo cual se utiliza el cable de calibre 8 AWG THWN a 60 °C, que soporta 40 A.

Con esta información se puede generar la siguiente representación del diagrama unifilar:

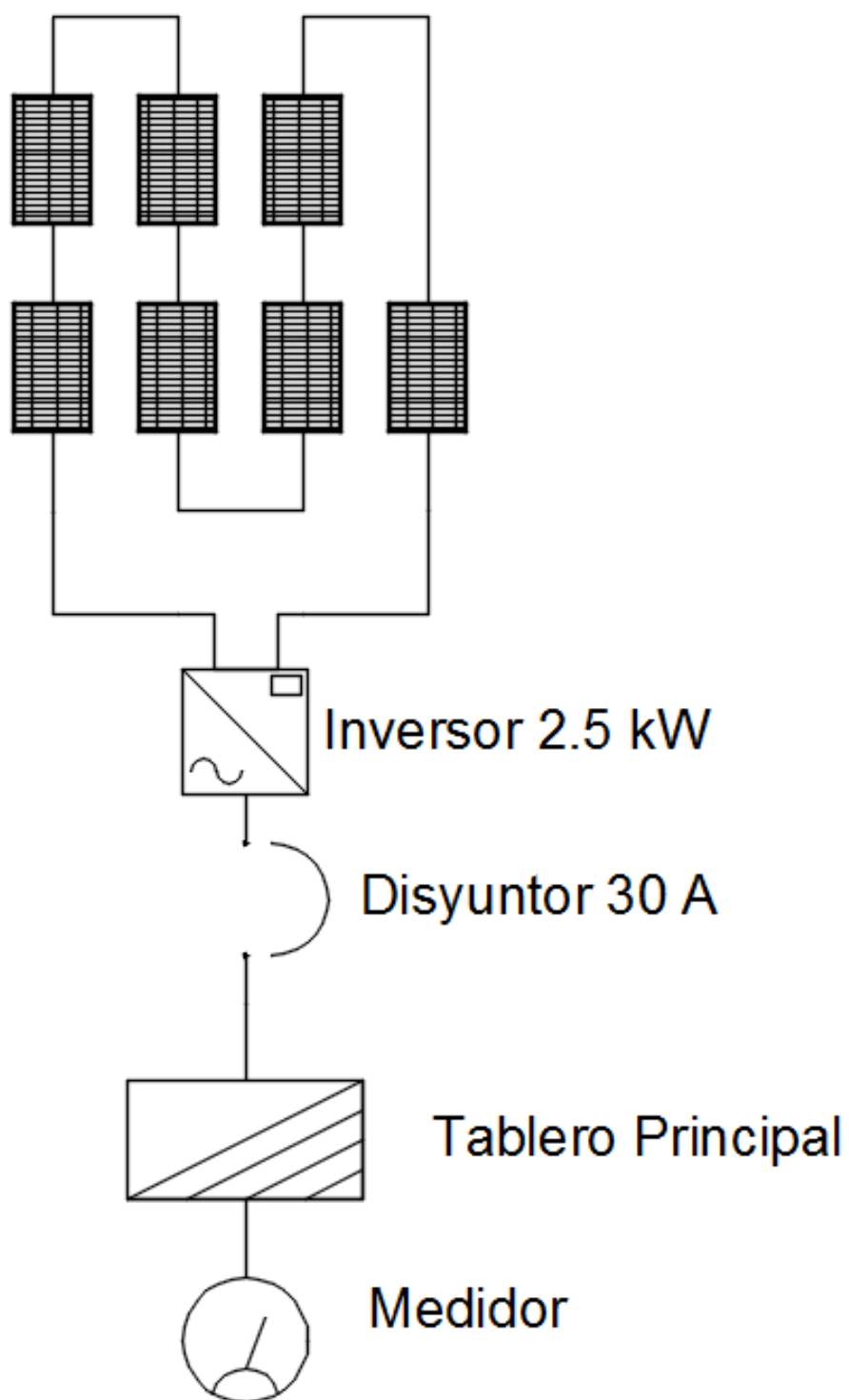


Figura 22. Diagrama de flujo.

Fuente: elaboración propia.

Diseño de iluminación

Este diseño, como se expuso brevemente en la sección de marco metodológico, se basa en la comparación entre dos tecnologías de lámparas, siendo una la de diodo emisor luz (LED, por sus siglas en inglés) y la luz compacta fluorescente (CFL, por sus siglas en inglés), para ser agregados a la propuesta de paneles solares. Para ser capaz de escoger una opción entre estas dos diferentes tecnologías de lámparas, se realizará un diseño de iluminación mediante el método de los lúmenes.

Se realizarán los cálculos de este diseño mediante la metodología de los lúmenes, tomando un lugar de la empresa, para que se logre apreciar el procedimiento de cálculo que se realizará para cada recinto de la compañía.

Se realizarán dos diseños de iluminación bajo la metodología de los lúmenes, siendo el único cambio que se genere que corresponda en la selección de tecnologías fluorescentes compactas o de diodo emisor de luz.

Para esto, primero se definirán y ejemplificarán los parámetros de la empresa que se mantienen iguales a través de las propuestas, porque son parámetros que dependen del área, color de paredes, suelo y techo del edificio, así como datos tomados de normas o tablas estandarizadas.

Una vez establecidos estos datos, se darán los resultados en una tabla resumen para cada luminaria, con respecto a los diferentes lugares de la oficina.

Una vez realizado el diseño de iluminación por el método de los lúmenes, se realizarán dos análisis financieros, uno agregando la propuesta de paneles solares con una de las tecnologías de lámparas y el siguiente análisis igualmente con la propuesta de paneles solares, pero con la otra tecnología.

Condiciones iniciales de iluminación

Se conoce la facturación eléctrica de la empresa (ver apéndice F), pero se necesita establecer qué parte de la facturación eléctrica corresponde a consumo y costo de solo el sistema de iluminación.

Para esto se utilizará un aproximado de las horas en que las lámparas están en funcionamiento, asumiendo que el consumo es de 30 W por cada lámpara aproximadamente, se puede obtener el costo de la iluminación con una tarifa de ¢122,17 por cada kWh (ver apéndice D).

En los apéndices V, W y X se puede apreciar la colocación y la cantidad de lámparas que posee sin realizar ningún agregado de paneles solares ni tecnologías de lámparas.

Costo de Iluminación para condiciones iniciales.				
Recinto	Horas de Uso Aprox.	Numero de lamparas	kW consumido	Costo por kWh ¹
Recepción	1	8	0.24	CRC 879.62
Baño 1	0.2	1	0.006	CRC 21.99
Baño 2 (Hombres)	0.2	1	0.006	CRC 21.99
Baño 3 (Mujeres)	0.2	1	0.006	CRC 21.99
Centro de reuniones	3	10	0.9	CRC 3,298.59
Pasillo	4	1	0.12	CRC 439.81
Oficina de Gerentes	8	4	0.96	CRC 3,518.50
Oficina 1	8	3	0.72	CRC 2,638.87
Oficina 2	8	2	0.48	CRC 1,759.25
Oficina 3	8	3	0.72	CRC 2,638.87
Oficina 4	8	5	1.2	CRC 4,398.12
Oficina 5	8	6	1.44	CRC 5,277.74
Cocina	5	5	0.75	CRC 2,748.83
Total	61.6	50	7.548	CRC 27,664.17

Nota: 1. Se utiliza la tarifa de 122.17 colones por kWh.

Tabla 12. Costo de iluminación para condiciones iniciales.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla previa se puede apreciar que el costo total dedicado a la iluminación de la empresa es de ¢27 644,17. Esta tabla nos permitirá determinar una barra de medición para conocer si la instalación de tecnologías LED o CFL es rentable para la empresa.

Lámparas seleccionadas

Para seleccionar las lámparas se buscaron opciones para ambos casos a realizar tecnologías CFL y LED que fueran funcionales para la empresa. Se solicitó que, para ambas tecnologías, se incluyera una luminaria para esa tecnología y un bulbo para algunas instalaciones únicas, como los baños, y las lámparas que posean una temperatura de color fría. Bajo esta información solicitada, se recomendaron las siguientes lámparas y luminarias para ambas tecnologías:

Para el caso 1:


Lámpara Compacta Fluorescente - CFL					
Modelo de Luminaria	Balastro	Bases CFL	Cant. Lamp	Potencia	
1515 QUADRAT	CFL	E27	2B	25 W	1515 QUADRAT
Descripción Comercial de Lámpara	Potencia (W)	Flujo Lum	Temp. Color (K)	Tensión (V)	Vida Util (H)
CFL EU SPIRAL 25W/865 T2 3PACK	25	1520	6500	120V~	10000

Tabla 13. Modelos de tecnologías de fluorescentes compactas por utilizar

Fuente: elaboración propia.

Para el caso 2:

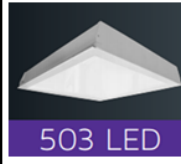
Diodo Emisor de Luz - LED					
Modelo de Luminaria	Cant. Barras LED	Flujo Lum	Dimensión	difusor #1 OPAL	
UL 503 LED	2	4200	2x2	Incluido	503 LED
Descripción Comercial de Lámpara	Potencia (W)	Flujo Lum	Temp. Color (K)	Tensión (V)	Vida Util (H)
LED A67 15W 1450LM 6.5K	15	1450	6500	120V-240V~	25000

Tabla 14. Modelos de tecnologías de diodo emisor luz por utilizar

Fuente: elaboración propia

Método de los lúmenes

A continuación, se desarrolla los cálculos necesarios para el diseño de iluminación mediante el método de los lúmenes. Este será ejemplificado con una habitación de la empresa, por lo menos una vez, puesto que el proceso se repite para los diferentes recintos, con el fin de lograr una mejor comprensión de este método.

Seguidamente se realizan dos tablas de resumen de los resultados por recinto, uno para cada diferente tecnología de iluminación.

Para la realización de este método se necesita establecer unos datos principales del espacio para trabajar y lámpara por utilizar. El recinto designado es la oficina de los gerentes, sin ningún razonamiento en especial, sino debido a que el proceso de análisis será el mismo para los diferentes recintos. Cabe destacar que las fórmulas utilizadas se describen en la sección de marco teórico “Fórmulas del método de los lúmenes”.

Dimensiones del recinto

Las dimensiones del local o recinto fueron medidas a través de las constantes visitas a la empresa y la elaboración de la planta arquitectónica nos ayuda a ejemplificarla. La altura del local es de 2,3 m y se establece una altura de trabajo de 0,85 m.

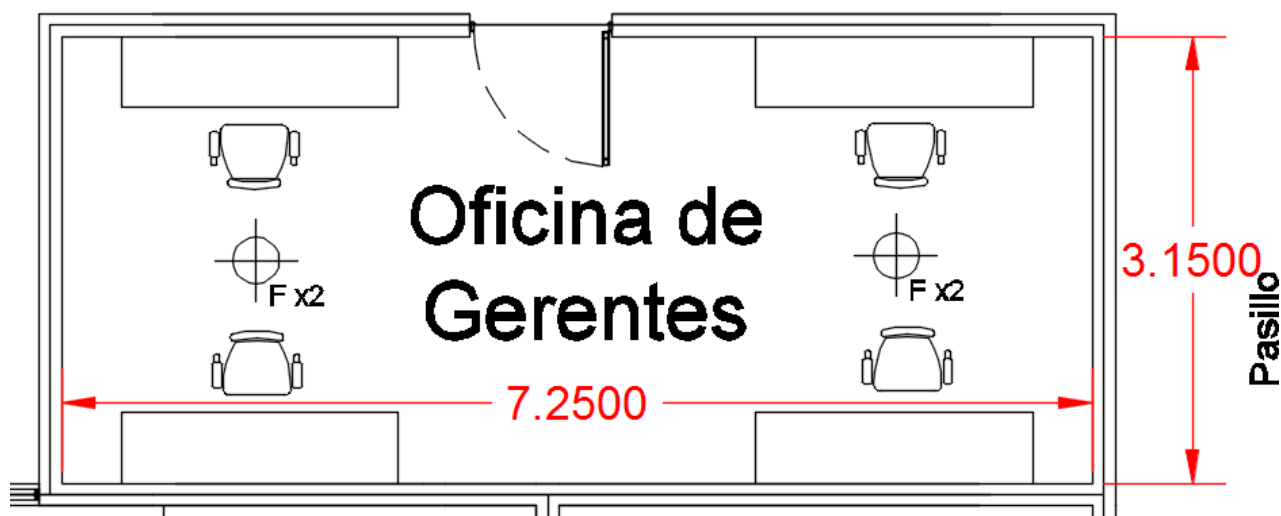


Figura 23. Dimensiones acotadas

Fuente: elaboración propia.

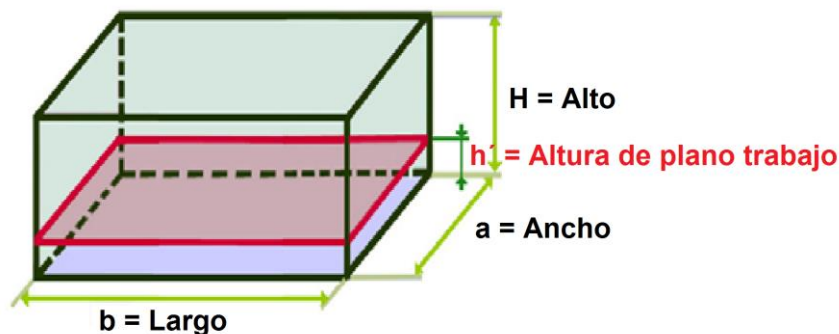


Figura 24. Dimensiones por considerar

Fuente: Luminotecnia, cálculo según el método de los lúmenes

Nivel de iluminación media (E_m)

Este valor se establece como parámetros recomendados para los distintos tipos de recintos que se presentan, dependiendo de su tarea o actividad en la que se realice. Por ejemplo, la iluminación de una cafetería o restaurante no es la misma que la de un quirófano. Este valor usualmente es una norma, en este caso se utiliza la norma Inteco INTE 31-08-06-2000.

Oficinas	
Halls para el público.	200
Cartografía, proyecto, dibujos detallados.	1000
Contaduría, tabulaciones, teneduría de libros, operaciones bursátiles, lectura de reproducciones, bosquejos rápidos.	500
Trabajo general de oficinas, lectura de buenas reproducciones, lectura, transcripción de escritura a mano en papel y lápiz ordinario, archivo, índices de referencia, distribución de correspondencia, etc.	500
Trabajos especiales de oficina, por ejemplo: sistema de computación de datos	750
Sala de conferencia	

Figura 25. Valores de lux para oficinas de acuerdo con la norma Inteco INTE 31-08-06-2000

Fuente: Norma Inteco INTE 31-08-06-2000

Para el caso de la oficina de los gerentes, se utiliza el valor de “*Trabajo general de oficinas, lectura de buenas reproducciones, lectura, transcripción de escritura a mano en papel y lápiz ordinario, archivo, índices de referencia, distribución de correspondencia*”, que corresponde a unos 750 lux.

Identificar el tipo de lámpara y luminaria por utilizar

Como se mencionó previamente, se desea comparar entre dos tecnologías de lámparas distintas. Por tanto, la selección de la lámpara depende del análisis que se esté realizando (sea CFL o LED). Sus especificaciones se pueden apreciar en las tablas 9 y 10. A su vez, los datos de esta tabla son tomados de los apéndices Q, R, S y T. Para el caso de las CFL, las lámparas CFL EU 25 W de 1 520 lm por utilizar se colocan en la luminaria UL1515, la cual soporta dos lámparas CFL. Por lo tanto, se tendrá un resultante de 3 040 lm. Para la realización de este ejemplo, se usará la tecnología CFL de 3 040 lm.

Altura de suspensión

Estas luminarias se colocan, lo más alto posible, sin estar suspendidas.

Cálculo del coeficiente de utilización

Usualmente, este se encuentra tabulado y es un dato facilitado por el fabricante. La compañía Sylvania no otorga estos valores, como se puede apreciar en los apéndices Q, R, S y T; la compañía agrega las curvas fotométricas. Se consultó con ingenieros de diseño de Sylvania, mediante una llamada telefónica, y ellos aseguran que, para este caso particular, con respecto a las lámparas fluorescentes compactas, se puede tomar la curva fotométrica y compararla con la de valores del manual de luminotecnia, mientras que las de diodo emisor luz dan un valor aproximado.

Es de gran importancia denotar que esto se realiza únicamente para este caso especial, debido a que, con respecto a las lámparas y luminarias LED, el manual de luminotecnia no

otorga una tabla para las lámparas LED, sino que se utiliza un valor aproximado o estimado de acuerdo con la curva fotométrica, no un valor específico para los sistemas LED.

Por lo tanto, para sistemas LED se usará un coeficiente de utilización de 0,7. Para calcular este valor con las lámparas fluorescentes compactas, se debe calcular el índice del local (k). La fórmula se puede apreciar en la figura 5, *Fórmulas para el cálculo del índice del local*. Para este ejemplo, se utiliza la luminaria UL 1515 2CFL D6 (ver apéndice R), por lo cual se aprecia que esta luminaria dará una iluminación directa, por lo cual:

$$k = \frac{a * b}{h * (a + b)} = k = \frac{(3,15 \text{ m}) * (7,25 \text{ m})}{(1,58 \text{ m}) * ((3,15 \text{ m}) + (7,25 \text{ m}))} = 1,3898$$

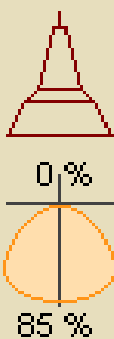
Una vez obtenido esto, se comienza a realizar el cálculo de los coeficientes de reflexión. Este depende del material o superficie en la que incide. Esto se debe a que la reflexión de la luz no es la misma para diferentes tipos de material o superficie. Por lo tanto, se toma la siguiente tabla para ejemplificar algunos coeficientes de reflexión.

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRON CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRON OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla 15. Ejemplos de coeficientes de reflexión

Fuente: *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes*

Gracias al cuadro anterior, se tienen los siguientes coeficientes de reflexión para el techo de 0,7–0,85 (blanco) y para las paredes de 0,10–0,20 (rojo oscuro). Con esta información, se puede obtener el factor de utilización para las lámparas fluorescentes compactas (se retoma la aclaración de que para el factor de utilización en sistemas LED se usa un valor aproximado; ver apéndice P).

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
 0 % 85 %	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28	
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37	
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43	
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50	
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55	
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62	
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65	
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69	
	$D_{max} = 1.1 H_m$	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73
	f_m .55 .60 .65	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	.78	.77	.75

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Figura 26. Factor de utilización.

Fuente: *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes*

Para un índice de local K de 1,38, con un factor de reflexión del techo de 0,7 y este mismo factor, pero en las paredes, de 0,10, no se puede realizar una lectura directa, por lo cual se realiza una interpolación:

$$C_U = \frac{(0,55 + 0,52 + 0,60 + 0,57)}{4} = 0,56$$

Coefficiente de mantenimiento

Este coeficiente relaciona el flujo que emite la lámpara con el nivel de limpieza que se le da a la luminaria. Este depende de la frecuencia con la que se da la limpieza del local. Suponiendo que hay una limpieza periódica anual, se puede tomar el valor para un ambiente limpio de 0,8.

Flujo luminoso total necesario

Para ejemplificar el cálculo de este flujo luminoso total necesario, se realiza con las lámparas compactas fluorescentes, como se ha realizado previamente a esta sección. La fórmula se encuentra en la sección del marco teórico denominada *Cálculo del flujo luminoso total necesario*, la cual es la siguiente:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m}$$

Donde:

E_m = nivel de iluminación medio (en lux), para este caso de 500 lux

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en lúmenes)

S = superficie a iluminar (en m^2), de 22,86

Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización (C_u) y de mantenimiento (C_m), que se definen a continuación:

C_u = Coeficiente de utilización, es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria, este caso de 0,56

C_m = Coeficiente de mantenimiento, es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria; este es de 0,8

$$\Phi_T = \frac{500 \text{ Lux} * 22,87 \text{ m}^2}{0,56 * 0,8} = 25 \text{ 488,28 lúmenes}$$

Numero de luminarias

Esta fórmula también se encuentra en la sección “Cálculo del número de luminarias”, para lo cual la fórmula corresponde a la siguiente:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L}$$

Donde:

NL = número de luminarias (valor de NL se redondea por exceso)

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo); para este caso de 1 050 lm por lámpara.

n = número de lámparas que tiene la luminaria; para este caso de CFL es de 2

$$NL = \frac{25\,488,28 \text{ lum}}{2 * 1\,520 \text{ lum}} = 8,38 = 9 \text{ luminarias}$$

Con esto se obtiene la cantidad de luminarias por instalar. Este dato, a su vez, puede ser revisado para conocer si es correcto, con la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{NL * n * \Phi_L * C_u * C_m}{S}$$

$$E_m = \frac{9 * 2 * 1\,520 * 0,56 * 0,8}{22,87 \text{ m}^2} = 535,95 \geq 500 \text{ lum}$$

Puesto que el resultado corresponde a 535,95 lúmenes, se cumple con la norma de iluminación media de 500 lúmenes para la oficina de gerentes. Este procedimiento se realiza para ambas tecnologías de lámparas, para cada uno de los recintos de la empresa. Estos resultados se ven en las siguientes tablas:

Método de lúmenes para cálculo de las luminarias con lámparas compactas fluorescentes								
Recinto	Area (m ²)	Iluminacion media (Lux) Norma INTECO 2000-09-20	Coefficiente de utilizacion	Coefficiente de Mantenimiento	Flujo Luminoso Luminaria seleccionada	Flujo Luminoso Total (Lúm)	Cantidad de luminarias	Cantidad de luminarias redondeado
Recepción	8.9857	400	0.62	0.8	1520	7246.53	2.38	3
Baño 1	4.8	200	0.42	0.8	1520	2857.14	0.94	1
Baño 2 (Hombres)	2.503	200	0.36	0.8	1520	1738.19	0.57	1
Baño 3 (Mujeres)	2.502	200	0.36	0.8	1520	1737.50	0.57	1
Centro de reuniones	22.86775	750	0.68	0.8	1520	31527.23	10.37	10
Pasillo	13.0626	200	0.4	0.8	1520	8164.13	2.69	3
Oficina de Gerentes	22.8375	500	0.56	0.8	1520	25488.28	8.38	9
Oficina 1	24.85	500	0.59	0.8	1520	26324.15	8.66	9
Oficina 2	18.6375	500	0.52	0.8	1520	22400.84	7.37	8
Oficina 3	18.45	1000	0.7	0.8	1520	32946.43	10.84	11
Oficina 4	19.7745	500	0.52	0.8	1520	23767.43	7.82	8
Oficina 5	32.7572	500	0.82	0.8	1520	24967.38	8.21	9
Cocina	37.3512	200	0.72	0.8	1520	12969.17	4.27	5
							Total	78

Notas:

Tabla 16. Método de lúmenes para cálculo de las luminarias con lámparas compactas fluorescentes

Fuente: elaboración propia

Método de lúmenes para cálculo de las luminarias con lámparas Diodo Emisor Luz								
Recinto	Area (m ²)	Iluminacion media (Lux) Norma INTECO 2000-09-20	Coefficiente de utilizacion	Coefficiente de Mantenimiento	Flujo Luminoso Luminaria seleccionada ¹	Flujo Luminoso Total (Lúm)	Cantidad de luminarias	Cantidad de luminarias redondeado
Recepción	8.99	400	0.7	0.8	4200	6418.36	1.53	2
Baño 1	4.80	200	0.7	0.8	1450	1714.29	1.18	2
Baño 2 (Hombres)	2.50	200	0.7	0.8	1450	893.93	0.62	1
Baño 3 (Mujeres)	2.50	200	0.7	0.8	1450	893.57	0.62	1
Centro de reuniones	22.87	750	0.7	0.8	4200	30626.45	7.29	8
Pasillo	13.06	200	0.7	0.8	1450	4665.21	3.22	4
Oficina de Gerentes	22.84	500	0.7	0.8	4200	20390.63	4.85	5
Oficina 1	24.85	500	0.7	0.8	4200	22187.50	5.28	6
Oficina 2	18.64	500	0.7	0.8	4200	16640.63	3.96	4
Oficina 3	18.45	1000	0.7	0.8	4200	32946.43	7.84	8
Oficina 4	19.77	500	0.7	0.8	4200	17655.80	4.20	5
Oficina 5	32.76	500	0.7	0.8	4200	29247.50	6.96	7
Cocina	37.35	200	0.7	0.8	4200	13339.71	3.18	4
							Total	57

Nota: 1. Las celdas resaltadas de un color diferente equivalen a las luminarias LED UL 503 2/4200 L 4KTL 2x2 D1 C/T, mientras que las otras corresponden a lámparas LED A67 15 W 1450 LM 6500 K.

Tabla 17. Método de lúmenes para cálculo de las luminarias con lámparas diodo emisor de luz

Fuente: elaboración propia

Análisis financiero

Con este primer análisis financiero para las diferentes tecnologías de luminarias, se busca demostrar la rentabilidad de una o ambas tecnologías. Una vez realizado esto, se analiza la integración de la tecnología de paneles solares.

Para comenzar con su análisis individual, estas dos tablas previas (12 y 13), es más fácil apreciar la cantidad total de luminarias por usar para cada propuesta. Para la propuesta de lámparas fluorescentes compactas (tabla 12), da un total de 78 luminarias, la cual corresponde a la luminaria UL1515 2 CFL D6 (ver apéndice R).

Es importante indicar que esta luminaria usa dos lámparas por luminaria, para trabajar bajo condiciones normales. Esta lámpara corresponde a la CFL EU 25W 6K H 6500K T2 BX3 (ver apéndice Q), la cual se vende en cajas de tres unidades. Gracias al apéndice U, se puede saber el precio de esta luminaria y los bombillos necesarios para su operación.

Con respecto a la propuesta de lámparas de diodo emisor de luz de la tabla 13, se tiene un total de 57 luminarias. Esta posee una subdivisión, siendo una cantidad de 8 lámparas LED A67 15W 1450LM 6500K (apéndice T) y de 49 luminarias UL 503 2/4200L 4KTL 2x2 D1 C/T. Una vez más, el costo unitario de estas puede ser tomado del apéndice U.

Con estos datos se genera la siguiente tabla:

Costo de Propuestas de Iluminación						
Tecnología	Tipo	Descripción	Unidades	Precio Unitario	Precio de todas las unidades	Precio de total
CFL	Luminaria	UL 1515 2CFL D6	78.00	CRC 26,822.99	CRC 2,092,193.22	CRC 2,209,505.22
	Lámpara	CFL EU 25W 6K H 6500K T2 BX3	26.00	CRC 4,512.00	CRC 117,312.00	
LED	Luminaria	UL503 2/4200L 4KTL 2X2 D1 C/T	49.00	CRC 74,250.00	CRC 3,638,250.00	CRC 3,666,821.36
	Lámpara	LED A67 15W 1450LM 66500K	8.00	CRC 3,571.42	CRC 28,571.36	
Notas:						

Tabla 18. Costo de propuestas de iluminación

Fuente: elaboración propia

Como la empresa trabaja en el área de instalaciones eléctricas, cableado e iluminación, la mano de obra de instalación de alguna de estas dos tecnologías lo asumen ellos propiamente, para asegurar un gasto menor, debido a que no deben de pagarles a externos para que las instalen.

Para conocer si existe un ahorro con la inclusión de alguna de estas dos tecnologías de iluminación, se elabora el siguiente cuadro, el cual corresponde a la potencia consumida por las nuevas luminarias, tomando las horas de uso aproximado de la tabla 8, para obtener el costo por kWh que se genera con estas nuevas tecnologías y compararlo con el costo de la iluminación en las condiciones iniciales de la empresa, el cual también se obtiene de esta tabla 8. De esta manera se realiza, para ambas tecnologías, empezando con las lámparas fluorescentes compactas en la siguiente tabla:

Costo de Iluminación para propuesta de tecnologías CFL						
Recinto	Horas de Uso Aprox.	Numero de luminarias	kW consumido	Costo por kWh con CFL²	Costo por kWh Condición Inicial¹	Ahorro / Consumo
Recepción	3	3	0.225	CRC 824.65	CRC 1,319.44	CRC 494.79
Baño 1	0.5	1	0.0125	CRC 45.81	CRC 54.98	CRC 9.16
Baño 2 (Hombres)	1	1	0.025	CRC 91.63	CRC 109.95	CRC 18.33
Baño 3 (Mujeres)	1	1	0.025	CRC 91.63	CRC 109.95	CRC 18.33
Centro de reuniones	3	10	0.75	CRC 2,748.83	CRC 1,319.44	CRC 1,429.39
Pasillo	4	3	0.3	CRC 1,099.53	CRC 439.81	CRC 659.72
Oficina de Gerentes	8	9	1.8	CRC 6,597.18	CRC 1,759.25	CRC 4,837.93
Oficina 1	8	9	1.8	CRC 6,597.18	CRC 879.62	CRC 5,717.56
Oficina 2	8	8	1.6	CRC 5,864.16	CRC 4,398.12	CRC 1,466.04
Oficina 3	8	11	2.2	CRC 8,063.22	CRC 1,759.25	CRC 6,303.97
Oficina 4	8	8	1.6	CRC 5,864.16	CRC 1,759.25	CRC 4,104.91
Oficina 5	8	9	1.8	CRC 6,597.18	CRC 5,277.74	CRC 1,319.44
Cocina	5	5	0.625	CRC 2,290.69	CRC 1,649.30	CRC 641.39
Total	65.5	78	12.7625	CRC 46,775.84	CRC 20,836.09	CRC 25,939.75

Nota: 1. Realizado a la fecha del 13 Setiembre 2018.
2. Se utiliza la tarifa de CRC 122.17 colones por kWh.

Tabla 19. Costo de iluminación para propuesta de tecnologías CFL

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla previa, incluir la tecnología de luminarias CFL causa un consumo mayor que sus condiciones iniciales, para $\text{¢}25\,939,75$, en vez de ser un ahorro.

Aunque estas luminarias trabajen a 25 W, lo cual es una potencia menor que las condiciones iniciales calculadas a 30 W, el incremento de luminarias para tener la iluminación óptima en la empresa provoca que no se genere un ahorro.

Ahora se realiza el mismo cálculo para conocer si la tecnología de diodo emisor de luz presenta un ahorro o consumo mayor que la condición inicial. La tabla corresponde a la siguiente:

Costo de Iluminación para propuesta de tecnologías LED						
Recinto	Horas de Uso Aprox.	Numero de luminarias	kW consumido ³	Costo por kWh con CFL ²	Costo por kWh Condición Inicial ¹	Ahorro / Consumo
Recepción	3	2	0.216	CRC 791.66	CRC 1,319.44	CRC 527.77
Baño 1	0.5	2	0.015	CRC 54.98	CRC 54.98	CRC 0.00
Baño 2 (Hombres)	1	1	0.015	CRC 54.98	CRC 109.95	CRC 54.98
Baño 3 (Mujeres)	1	1	0.015	CRC 54.98	CRC 109.95	CRC 54.98
Centro de reuniones	3	8	0.864	CRC 3,166.65	CRC 1,319.44	CRC 1,847.21
Pasillo	4	4	0.24	CRC 879.62	CRC 439.81	CRC 439.81
Oficina de Gerentes	8	5	1.44	CRC 5,277.74	CRC 1,759.25	CRC 3,518.50
Oficina 1	8	6	1.728	CRC 6,333.29	CRC 879.62	CRC 5,453.67
Oficina 2	8	4	1.152	CRC 4,222.20	CRC 4,398.12	CRC 175.92
Oficina 3	8	8	2.304	CRC 8,444.39	CRC 1,759.25	CRC 6,685.14
Oficina 4	8	5	1.44	CRC 5,277.74	CRC 1,759.25	CRC 3,518.50
Oficina 5	8	7	2.016	CRC 7,388.84	CRC 5,277.74	CRC 2,111.10
Cocina	5	4	0.72	CRC 2,638.87	CRC 1,649.30	CRC 989.58
Total	65.5	57	12.165	CRC 44,585.94	CRC 20,836.09	CRC 23,749.85

Nota: 1. Realizado a la fecha del 13 Setiembre 2018.
 2. Se utiliza la tarifa de CRC 122.17 colones por kWh.
 3. Las casillas de diferente color corresponde a la lampara LED A67 15W 1450LM 6500K

Tabla 20. Costo de iluminación para propuesta de tecnologías LED

Fuente: elaboración propia

Para esta tecnología LED ocurre lo mismo que en el caso previo. Para asegurar una correcta iluminación en las facilidades de la empresa, se debe agregar una cantidad de luminarias mayor a la original; por lo tanto, se deberá asumir un consumo de iluminación mayor de ¢44 827,84 que su condición inicial.

Debido a que la finalidad de esta investigación es la de ahorrar energía eléctrica y, como las dos propuestas de tecnologías de lámparas compactas fluorescentes y diodo emisor de luz no presentan un ahorro mayor para la empresa, no se consideran las mejores opciones para los fines que buscados.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se puede apreciar en la sección de análisis de resultados, en el apartado “Información recolectada para el análisis del sistema fotovoltaico” y el apéndice F, se logró determinar las condiciones del consumo eléctrico para la empresa Total Protection Systems, mediante visitas periódicas a la empresa, determinando el consumo energético en kilowatts, detallado por cada mes, en un periodo de un año.

A su vez, se logró obtener la factura eléctrica detallada para obtener ciertos factores por considerar en el análisis financiero, como las tarifas y costos del alumbrado público y el tributo a los bomberos, que sustentan y forman parte del cálculo de la propuesta, pues son los costos fijos de una facturación eléctrica.

Para la determinación de un potencial en radiación, según los datos ya documentados en la sección de análisis de resultados, en la tabla 5, se llegó a determinar una comparación entre las condiciones iniciales y la propuesta de inclusión de paneles, mediante un análisis técnico para determinar la radiación solar emitida y captable para la ubicación.

Al principio, en la sección de “Cálculo del número de paneles”, se determinó que, para esta radiación captable, se generaba una potencia de 8,7 kilowatts hora, con la cual se tenía una potencia generada total de 15 847,31 kilowatts.

Debido a que esta potencia, en relación con la potencia consumida por la empresa, generaba una sobreproducción cuatro veces mayor que la consumida. Esto sucede gracias a que la fórmula supone que, todos los meses, ocurren los valores de los meses con mayor demanda energética y menor producción o captación de energía, lo cual no es cierto.

Si bien se puede llegar a dar la mayor demanda por parte de la empresa todos los meses, la radiación solar no se mantiene en un valor crítico ni constante, puesto que la radiación solar varía con respecto al clima.

Para la determinación de un potencial en radiación, según los datos ya documentados en la sección de análisis de resultados, en la tabla 5, se llegó a determinar una comparación entre las condiciones iniciales y la propuesta de inclusión de paneles, mediante un análisis técnico para la determinación de la radiación solar emitida y captable para la ubicación. Esta radiación se obtuvo de tablas de horas solares pico a través de la página web de la NASA (Apéndice B). Además se logró concretar un área óptima de la empresa para implementar un sistema fotovoltaico, tomando tal consideración como las sombras de edificios continuos.

Se recomienda tomar la consideración del área seleccionada como 100% del techo, puesto que la sombra dada por los edificios cercanos no permitirá un óptimo uso.

Para determinar el diseño electromecánico de sistema fotovoltaico más adecuado utilizando paneles solares para la empresa se debe referenciar a la sección de análisis de resultados denominada “diseño fotovoltaico”. En esta se realizaron 4 casos para diseños fotovoltaicos, donde dos buscaban satisfacer únicamente el 100% de la demanda energética de la empresa con la diferencia de siendo una de estas con micro inversores y la otra con inversor central. Para las otras dos propuestas igualmente se ven diferenciadas entre la selección de inversor central o micro inversores pero con la casualidad de que ambas buscaban utilizar el 100% de área de techo disponible para la empresa. Para el caso 1, se buscaba suplir el 100% de la demanda energética de la empresa, este se corresponde a las tablas 5, 6, 7 y la figura 15. Se tiene 7 paneles solares a una potencia de 1959.89 watts, esto implicando una inversión inicial de CRC 2, 321,120.00, con un ahorro anual de CRC 415, 569.53. En un periodo de 20 años se llega a tener un valor actual neto de CRC 2, 821, 271.53 con una tasa interna de retorno del 3%.

El caso número 2 tiene la misma intención que el caso 1, busca cumplir únicamente con la demanda total de la empresa pero este usara micro inversores. Este utiliza una inversión inicial de ¢ 2, 564,837.60, con el mismo ahorro anual y el mismo periodo de 20 años. El valor actual neto a los 20 años genera un monto de ¢ 2, 365,903.27 y por ende una tasa interna de retorno de -1% debido a que se gasta más de lo que se recupera en los 20 años.

Los siguientes dos casos, enumerados caso 3 (tablas 10, 11,12 y figura 17) y caso 4 (tablas 13, 14 y figura 18) se basaban en cubrir el 100% del área del techo utilizable para la colocación de los paneles, pero ambos casos necesitan de una alta inversión inicial (caso 3 de ¢ 6, 272,826.80 y caso 4 de ¢ 9, 858,957.20) por lo que en el periodo de 20 años no se llega a recuperar esta inversión.

Por lo comentado previamente, no se logró determinar el diseño electromecánico de sistema fotovoltaico más adecuado para la empresa, debido a que ningún caso presenta una remuneración monetaria a la empresa; del caso 2 al caso 3 se presenta una inversión inicial mayor que la ganancia después de 20 años, y para el caso 1 ocurre que la tasa interna de

retorno es menor que la tasa de descuento, por lo que esto representa un rendimiento menor que el mínimo requerido para este proyecto. Se recomienda a la empresa utilizar estas propuestas fotovoltaicas como guía para una futura implementación de sistemas fotovoltaicos en la empresa, en especial a la del caso 1 debido a que esta es capaz de suplir la demanda energética de la empresa dejando una amplia área de la empresa para su expansión si esta lo deseara. Se recomienda utilizar micro inversores para proyectos con una mayor cantidad de paneles solares para asegurar una rentabilidad adecuada para los micros inversores.

Antes de concluir con el análisis financiero, se debe comentar el diseño eléctrico del sistema de iluminación para la empresa. Este diseño busca otorgar la correcta iluminación para los diferentes recintos, con base en unos análisis de su iluminación mediante la metodología de los lúmenes para dos tecnologías de iluminación diferentes, una con lámparas fluorescentes compactas y las otras de diodo emisor de luz.

Estas dos fueron escogidas por su naturaleza o ideología de tener un menor consumo energético. La finalidad es conocer cuál es más eficiente en términos de energía y una vez determinada la luminaria más eficiente, se agregaría a la propuesta de paneles solares.

De acuerdo con la sección de análisis de resultados denominada “Diseño de iluminación”, se realizó un análisis de únicamente la parte de su costo dedicada a sistemas de iluminación para las condiciones actuales. Esto da un consumo de 7,55 kW consumidos en sistemas de iluminación a un costo de $\text{¢}27\ 644,17$.

Como se observa en el apartado de análisis de resultados denominado “Método de los lúmenes”, en la página 92, la metodología de los lúmenes otorga los niveles de iluminación deseados para una correcta y adecuada operación. Sin embargo, a la hora de buscar niveles óptimos de iluminación, ambas tecnologías generan un consumo mayor de energía que las condiciones iniciales.

Gracias a que la finalidad de este proyecto era percibir únicamente ahorros, a la hora de escoger la mejor opción para disminuir costos de energía entre la propuesta de paneles solares y la inclusión de ambas propuestas de tecnologías CFL o LED, se concluye que la mejor es la de paneles únicamente. Los diseños de iluminación de ambas tecnologías se dejan como opciones viables, si la empresa deseara aplicar un correcto nivel de iluminación.

A su vez, se recomienda a la empresa, si desea emplear este diseño de iluminación, que lo haga con la tecnología LED pues, aunque el costo es mayor, como se aprecia en las tablas 14 y 16, esta tecnología LED posee una vida útil mayor que las CFL. Se puede apreciar en los anexos Q y T que la tecnología LED posee 15 000 horas más de vida útil, mucho más que las fluorescentes compactas.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

Diseño fotovoltaico

Este diseño fotovoltaico cubre el 100% de la demanda de la empresa. Utilizando una pequeña área del techo para su implementación, que busca el ahorro de la factura eléctrica, disminuir los gastos de la empresa y generar un menor impacto ecológico a través del uso de recursos renovables, como es la energía solar.

Para implementar el diseño fotovoltaico que cubra el 100% de la demanda eléctrica de la empresa, se deberá implementar un sistema de siete paneles solares, de 300 W cada uno, y el sistema de una potencia de 1,95 kWh. Para justificar el cubrimiento del 100% de la demanda con un total de siete paneles solares, con una potencia pico de 300 W, se presenta la siguiente tabla, la cual compara la potencia generada por este sistema con respecto al consumo anual de kilowatts hora de la empresa

Generación Fotovoltaica con sistema de 1.95 kWh y su relación al consumo de la empresa			
Mes	Potencia Generada (kWh)	Consumo (kWh)	Exceso o Faltantes al mes (kWh)
Octubre	230.27	102	128.27
Noviembre	236.36	134	102.36
Diciembre	295.28	179	116.28
Enero	335.38	119	216.38
Febrero	352.31	152	200.31
Marzo	404.64	220	184.64
Abril	360.42	180	180.42
Mayo	281.91	261	20.91
Junio	254.59	371	-116.41
Julio	279.48	200	79.48
Agosto	279.48	763	-483.52
Setiembre	259.88	889	-629.12
Total	3570.00	3570	0.00
Notas:			

Gracias a esta tabla, se puede notar que se cubre el 100% de la demanda energética.

Colocación de los paneles en el tejado de la empresa

Para la colocación de los paneles solares de la empresa, se desea emplear una estructura coplanar, denominada por el proveedor para techo o cubierta plana. Esta estructura de cubierta plana posee triángulos adaptables para la inclinación deseada, lo cual permite adaptar el panel a un ángulo deseado y soportar la colocación de cuatro paneles solares.

Únicamente se necesitan dos de estas estructuras, además de que, comparadas con otras estructuras, estas son más atractivas por su bajo precio en el mercado.

Selección de inversor o microinversor

Se tiene el diseño de este sistema conformado por siete paneles solares que generan una potencia de 1.95 kWh. Por lo tanto, se necesita un inversor mayor, que soporte una potencia mayor a 1,95 kWh. Debido a que se trabaja con siete paneles solares, se elige un inversor central; debido a que al elegir microinversores, el precio de estos microinversores en este sistema es relativamente bajo, porque pocos paneles no se vuelve competitivo, ultimadamente, implica un costo mayor que el usar un único inversor.

Por esta misma razón, se elige que la disposición del inversor sea como inversor central. Corresponde a un inversor de 2,5 kWh, lo cual permite un espacio para el crecimiento de 5 kWh con respecto a los 1,95 kWh generados al año y posee una garantía de cinco años.

Análisis financiero para los paneles solares

La siguiente tabla corresponde a información necesaria para la evaluación financiera de cuánto cuesta el montar el proyecto de los paneles y a que, tiempo y monto se ve un ahorro.

Tabla Resumen de datos	
Cambio Dólar 16/9/18 ¹	\$580.28
Cargos Fijos	CRC 20,220.00
Interconexión Total	CRC 235,000.00
Tasa BN Eco Tecnología ²	15.90%
Tasa Aumento Anual Aprox.	14.10%
Costo de Mantenimiento Aprox.	CRC 60,000.00
Inversión Inicial	
Paneles Solares	CRC 1,096,729.20
Inversor Central (5 años)	CRC 812,393.00
Estructura coplanar	CRC 411,998.80
Total de Inversión Inicial	CRC 2,321,120.00
Ahorro Anual sin cargos Fijos	CRC 435,789.53
Ahorro Anual	CRC 415,569.53
Notas:	
1. El valor del cambio de dólar se toma de datos históricos del BN.	
2. El valor de Tb BCCRR es igual a 5.85 para la fecha del 16/09/18.	

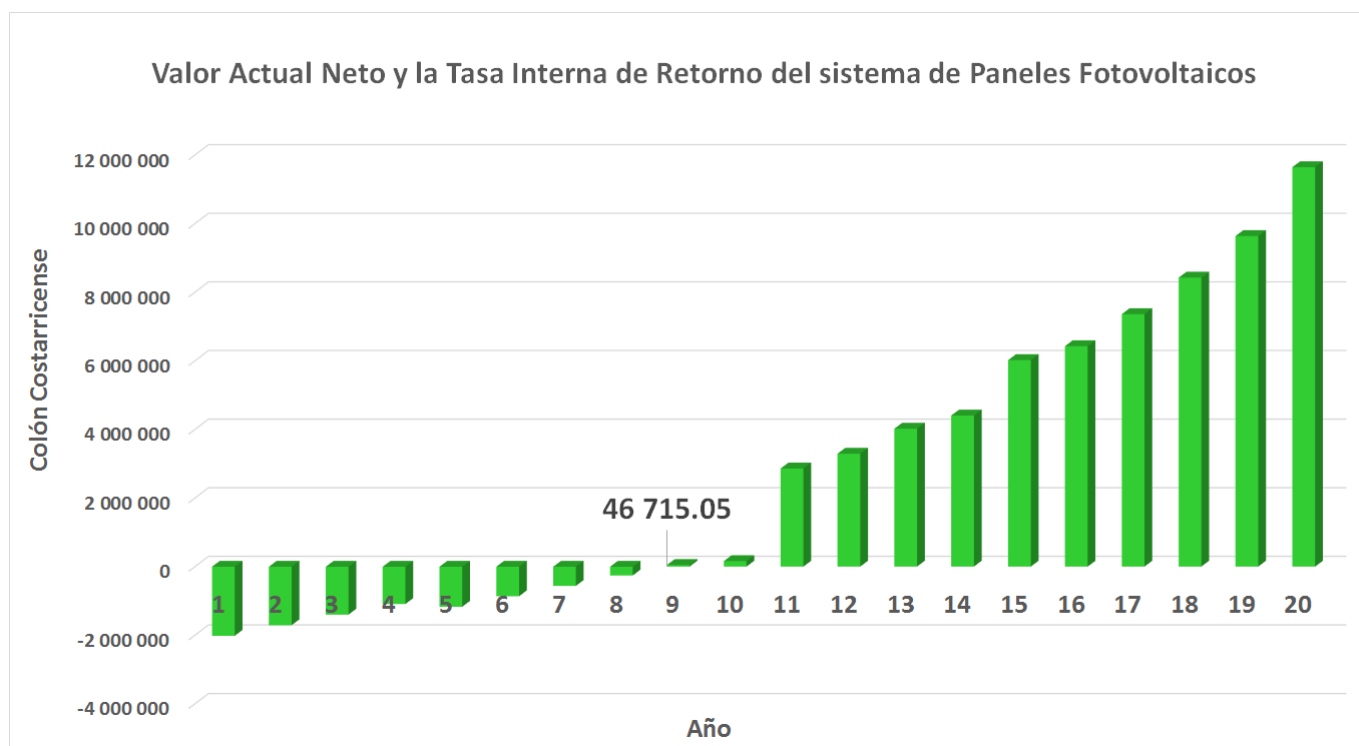
Por lo tanto, el ahorro anual consiste en unos ¢415 569,53 al año, pero este ahorro varía con respecto al tiempo. Se pasa por obtener el valor actual neto y la tasa interna de retorno del proyecto. La tasa de interés corresponde a la tasa BN Eco Tecnología del 15,9%.

Como se mencionó previamente, este ahorro varía respecto al tiempo, por lo cual es claro indicar que se trabajará bajo un periodo de 20 años y se usará la tasa de aumento anual aproximado que utiliza la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) al 24 de setiembre del 2018, del 14,10%.

Para el mantenimiento se tiene un valor cotizado de ¢60 000 al año, pero como la garantía del inversor central es de cinco años, se decide realizar el análisis suponiendo que, cumplidos estos cinco años, se cambiará el inversor central, por lo cual, el mantenimiento original de ¢60 000 incrementa en ¢812 393 cada cinco años, dando un resultado de ¢872 393.

Con esta información se genera la siguiente tabla:

Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno del sistema de Paneles Fotovoltaicos					
	Ahorro anual	Mantenimiento	Flujos Netos	Sumatoria	VAN
Año 1	CRC 415,569.53	CRC 60,000.00	CRC 355,569.53	CRC 306,789.93	(CRC 2,014,330.07)
Año 2	CRC 474,164.83	CRC 60,000.00	CRC 414,164.83	CRC 615,113.23	(CRC 1,706,006.77)
Año 3	CRC 541,022.08	CRC 60,000.00	CRC 481,022.08	CRC 924,082.09	(CRC 1,397,037.91)
Año 4	CRC 617,306.19	CRC 60,000.00	CRC 557,306.19	CRC 1,232,940.99	(CRC 1,088,179.01)
Año 5	CRC 704,346.36	CRC 872,393.00	-CRC 168,046.64	CRC 1,152,586.03	(CRC 1,168,533.97)
Año 6	CRC 803,659.20	CRC 60,000.00	CRC 743,659.20	CRC 1,459,398.74	(CRC 861,721.26)
Año 7	CRC 916,975.14	CRC 60,000.00	CRC 856,975.14	CRC 1,764,457.97	(CRC 556,662.03)
Año 8	CRC 1,046,268.64	CRC 60,000.00	CRC 986,268.64	CRC 2,067,377.82	(CRC 253,742.18)
Año 9	CRC 1,193,792.52	CRC 60,000.00	CRC 1,133,792.52	CRC 2,367,835.05	CRC 46,715.05
Año 10	CRC 1,362,117.26	CRC 872,393.00	CRC 489,724.26	CRC 2,479,809.07	CRC 158,689.07
Año 11	CRC 1,554,175.80	CRC 60,000.00	CRC 1,494,175.80	CRC 2,860,168.10	CRC 2,860,168.24
Año 12	CRC 1,773,314.58	CRC 60,000.00	CRC 1,713,314.58	CRC 3,292,514.36	CRC 3,292,514.52
Año 13	CRC 2,023,351.94	CRC 60,000.00	CRC 1,963,351.94	CRC 3,783,916.73	CRC 4,018,916.73
Año 14	CRC 2,308,644.56	CRC 60,000.00	CRC 2,248,644.56	CRC 4,342,399.30	CRC 4,402,399.30
Año 15	CRC 2,634,163.45	CRC 872,393.00	CRC 1,761,770.45	CRC 5,603,711.07	CRC 6,019,276.60
Año 16	CRC 3,005,580.49	CRC 60,000.00	CRC 2,945,580.49	CRC 6,424,540.29	CRC 6,424,540.29
Año 17	CRC 3,429,367.34	CRC 60,000.00	CRC 3,369,367.34	CRC 7,359,463.02	CRC 7,359,463.02
Año 18	CRC 3,912,908.14	CRC 60,000.00	CRC 3,852,908.14	CRC 8,424,305.16	CRC 8,424,305.16
Año 19	CRC 4,464,628.19	CRC 60,000.00	CRC 4,404,628.19	CRC 9,637,082.49	CRC 9,637,082.49
Año 20	CRC 5,094,140.76	CRC 872,393.00	CRC 4,221,747.76	CRC 11,644,944.59	CRC 11,644,944.59
				TIR	27%



Gracias a la tabla y figura anterior se puede ver con facilidad que el ahorro se recupera a partir del undécimo año, con un monto de $\$2\,860\,168,24$ y una tasa interna de retorno del 27%.

Diagrama unifilar

Gracias La propuesta fotovoltaica a utilizar corresponde al caso 1. Para la realización de este diagrama unifilar para los paneles solares, primeramente se deberá establecer el tipo de conexión que se le dará a los paneles. Se establece una conexión en serie para los paneles, la cual indica que la corriente será la misma en todo el circuito. De acuerdo al panel elegido (apéndice I) este posee un máximo voltaje por sistema equivalente a 1000 V y por cada panel se tiene un voltaje máximo de 32.5 V. Por lo cual se multiplica el número de paneles por 32.5 V, esto nos da 227.5 V lo cual es aceptable para el límite de 1000 V de los paneles. Esto implica que los 7 paneles se pueden conectar en serie.

De acuerdo con el Código Eléctrico Nacional NEC 2008, el artículo 690 habla de sistemas solares fotovoltaicos y según el artículo 690.8 (B), se debe sobredimensionar la corriente máxima del panel para que conduzca un mínimo del 125% de esta. La corriente máxima de este panel seleccionado corresponde a 9.24 A; por lo tanto la corriente máxima sobredimensionada corresponde a 11.55 A. De acuerdo al artículo 310, el cual habla de conductores para instalaciones en general, se puede utilizar la tabla 310.16 para descubrir el calibre del cable. Para esta instalación se deberá colocar un cable de cobre de calibre 12 AWG 30THWN a 60° C, el cual soporta 25 A pero debido a que este corresponde al mínimo para instalaciones eléctricas se utiliza este para una instalación de 11.55 A. Este cable será utilizado para la conexión de los paneles solares.

Para el inversor central se debe colocar una protección o disyuntor para proteger los equipos en caso de un fallo o sobrecarga del sistema. Para esto, volvemos al artículo 690, específicamente el artículo 690.10 (B) del Código Eléctrico Nacional, el cual indica que se debe tomar el valor nominal de la salida del inversor para dimensionar la protección que se coloca. El inversor central (apéndice J y K) indica que su corriente pico es de 24.3 A a 230 V. Según el artículo 240, el cual indica la protección contra sobre

corriente, utilizando el artículo 240.6 (A) se utilizaría una protección o disyuntor de 30 A en la salida del inversor central.

De acuerdo a la salida AC del inversor, se debe calcular el cable, igualmente sobredimensionando a un 125%. Para esto se toma la corriente de 24.3 A y se multiplica por el 125%; esto da un resultado de 30.375 A. Con este amperaje, en la tabla 310.16 del NEC se necesitara un cable de calibre 8 AWG THWN a 60° C, que soporta 40 A.

Para el cableado que entra al tablero del medidor, se utiliza la corriente pico del inversor de 24.3 A y se sobredimensiona al 125%. Esto da un resultado de 30.375 A; por lo cual se utiliza el cable de calibre 8 AWG THWN a 60° C, que soporta 40 A.

Con esta información se puede generar la siguiente representación del diagrama unifilar:

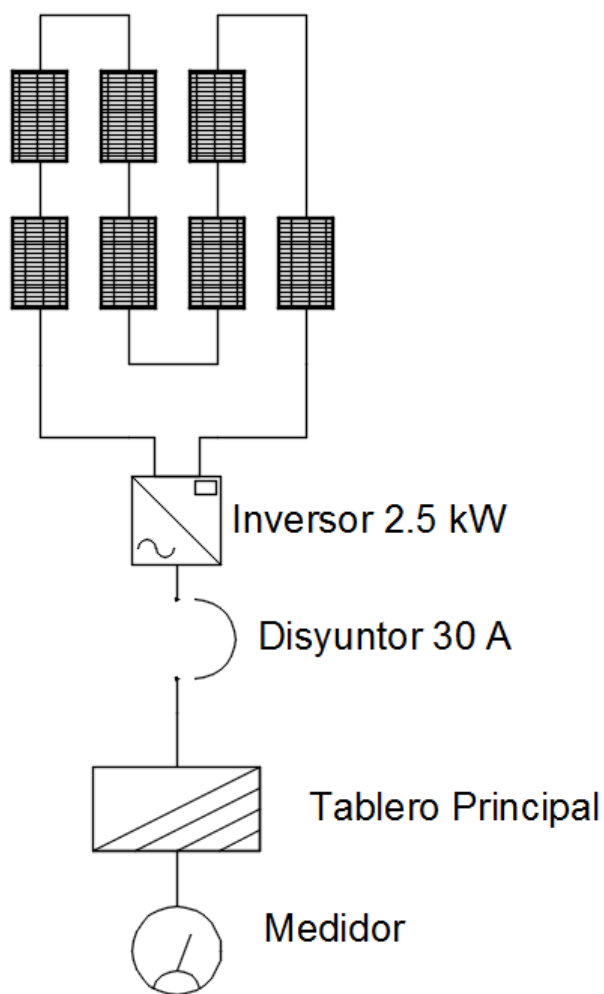


Figura 27. Diagrama de Flujo

Fuente: elaboración propia

Diseño de iluminación

Este diseño de iluminación permitirá a la empresa tener una iluminación correcta para los usuarios. ¿Por qué se desearía esto? La iluminación correcta en un área de trabajo permitirá que el usuario sea capaz de desarrollarse sin que su visión sea un problema. Si se razona que un empleado de oficina, usualmente, se encuentra alrededor de 8 horas diarias trabajando constantemente bajo una luz de lámparas y esta luz de lámpara no es la correcta, el usuario se verá afectado de dos posibles maneras.

La primera siendo una luz insuficiente para el trabajo que se está desarrollando, causando que el ojo humano se esfuerce más para compensar esta falta de luz; mientras que la segunda será un exceso de luz para el usuario, causando una sobrecarga de luz de lo que el usuario necesita y por ende una fatiga para el ojo del usuario.


Estas dos causas perjudiciales del efecto de una incorrecta instalación de iluminación harán que los empleados puedan trabajar menos tiempo o aún menor desempeño debido a un mayor esfuerzo o fatiga. Por lo cual si se asegura un correcto sistema de iluminación se podrá evitar estas causas nocivas; para lo cual se tiene el siguiente diseño de iluminación basado en tecnologías LED, proyectado al tamaño de las áreas y el tipo de trabajo que se realiza en estas.

Cabe destacar que para asegurar esta correcta iluminación en las facilidades de la empresa, se deberán de agregar una cantidad de luminarias mayor a las que originalmente posee la empresa, implicando esto un mayor costo en iluminación a la empresa, pero a su vez esta tecnología LED posee un estimado de vida útil de 25 000 horas, por lo que se espera que se necesite gastar menos en el remplazar lámparas o luminarias gastadas en la empresa por lo cual este costo mayor en la iluminación se balancea.

La siguiente tabla corresponde a la inversión inicial que se le deberá hacer para la utilización de esta propuesta:

Costo de Propuestas de Iluminación						
Tecnología	Tipo	Descripción	Unidades	Precio Unitario	Precio Total	Costo de propuesta
LED	Luminaria	UL503 2/4200L 4KTL 2X2 D1 C/T	49	CRC 74,250.00	CRC 3,638,250.00	CRC 3,666,821.36
	Lámpara	LED A67 15W 1450LM 66500K	8	CRC 3,571.42	CRC 28,571.36	
Notas:						

La siguiente tabla es la información de la luminaria:

Diodo Emisor de Luz - LED					
Modelo de Luminaria	Cant. Barras LED	Flujo Lum	Dimensión	difusor #1 OPAL	
UL 503 LED	2	4200	2x2	Incluido	503 LED
Descripción Comercial de Lámpara	Potencia (W)	Flujo Lum	Temp. Color (K)	Tensión (V)	Vida Util (H)
LED A67 15W 1450LM 6.5K	15	1450	6500	120V-240V~	25000

La siguiente tabla representa el cálculo para conocer si la tecnología de diodo emisor de luz presenta un ahorro o consumo mayor que la condición inicial. Estas condiciones iniciales del costo de la iluminación fueron medidas mediante un análisis a su factura eléctrica a la fecha del 13 de setiembre del 2018. Esta tabla se detalla de acuerdo al recinto y a la cantidad de luminarias que deben estar presentes una vez instalado el diseño de iluminación con la tecnología LED. Este diseño LED a su vez utiliza luminarias para áreas más grandes en la empresa y para usos más específicos utiliza una lámpara, ambas de tecnología LED, por esto se da un cambio de color en las casillas de la columna de los kilowatts consumidos. La tabla corresponde a la siguiente:

Costo de Iluminación para propuesta de tecnologías LED						
Recinto	Horas de Uso Aprox.	Numero de luminarias	kW consumido ³	Costo por kWh con CFL ²	Costo por kWh Condición Inicial ¹	Ahorro / Consumo
Recepción	3	2	0.216	CRC 791.66	CRC 1,319.44	CRC 527.77
Baño 1	0.5	2	0.015	CRC 54.98	CRC 54.98	CRC 0.00
Baño 2 (Hombres)	1	1	0.015	CRC 54.98	CRC 109.95	CRC 54.98
Baño 3 (Mujeres)	1	1	0.015	CRC 54.98	CRC 109.95	CRC 54.98
Centro de reuniones	3	8	0.864	CRC 3,166.65	CRC 1,319.44	CRC 1,847.21
Pasillo	4	4	0.24	CRC 879.62	CRC 439.81	CRC 439.81
Oficina de Gerentes	8	5	1.44	CRC 5,277.74	CRC 1,759.25	CRC 3,518.50
Oficina 1	8	6	1.728	CRC 6,333.29	CRC 879.62	CRC 5,453.67
Oficina 2	8	4	1.152	CRC 4,222.20	CRC 4,398.12	CRC 175.92
Oficina 3	8	8	2.304	CRC 8,444.39	CRC 1,759.25	CRC 6,685.14
Oficina 4	8	5	1.44	CRC 5,277.74	CRC 1,759.25	CRC 3,518.50
Oficina 5	8	7	2.016	CRC 7,388.84	CRC 5,277.74	CRC 2,111.10
Cocina	5	4	0.72	CRC 2,638.87	CRC 1,649.30	CRC 989.58
Total	65.5	57	12.165	CRC 44,585.94	CRC 20,836.09	CRC 23,749.85

Nota: 1. Realizado a la fecha del 13 Setiembre 2018.
2. Se utiliza la tarifa de CRC 122.17 colones por kWh.
3. Las casillas de diferente color corresponde a la lampara LED A67 15W 1450LM 6500K

Con el uso de esta tecnología LED, para asegurar una correcta iluminación en las facilidades de la empresa se debe agregar una cantidad de luminarias mayor a la original por lo tanto se deberá asumir un consumo de iluminación mayor de CRC 44827.84 que su condición inicial. Su ubicación de empotramiento de lámparas y luminarias es detallada en las plantas arquitectónicas asignadas a esta propuesta, las cuales se encuentran en el CD que se incluye con esta propuesta.

REFERENCIAS

- Abella, M. A. (2005). *Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas*. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas.
- Acesolar. (s.f.). *Asociación Costarricense de Energía Solar*. Obtenido de <http://www.acesolar.org/que-es-generacion-distribuida/>
- Barrera, M. F. (2010). *Energía solar: electricidad fotovoltaica*. Editorial Liber Factory.
- Bastian, P. (2001). *Electrotecnia*. Ediciones AKAL.
- Blanca Jiménez, V., & Aguilar Rico, M. (1995). *Iluminación y color*. Universidad Politécnica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Servicio de Publicaciones.
- Castilla Cabanes, N., Blanca Giménez, V., Martínez Antón, A., & Pastor Villa, R. M. (s.f.). *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes*. E.T.S. Arquitectura.
- Castilla Cabanes, N., Blanca Giménez, V., Martínez Antón, A., & Pastor Villa, R. M. (s.f.). *LUMINOTECNIA: Magnitudes Fotométricas básicas. Unidades de medida*. E.T.S. Arquitectura.
- D., E. P. (2011). *El coeficiente de Utilización en el diseño de instalaciones de Alumbrado Público*. Universidad Católica de Valparaíso.
- (2015). *Decreto N° 39220-MINAE*. Cartago.
- Delta Volt SAC. (s.f.). *Delta Volt*. Obtenido de Delta Volt SAC: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/instalar-sistema-solar>
- Equipo Editorial. (2012). *Diseño de interiores en espacios comerciales*. Editorial Elearning, S.L.
- Fernandez, J. G., & Boix, O. (s.f.). *Recursos docentes CITCEA*. Obtenido de Iluminación de interiores: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/>
- Hernández Sampieri, D., Fernández Collado, D., & Baptista Lucio, D. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION 6ª EDICION*. MCGRAW HILL.
- Ing. Gustavo Valverde, P. (2015). *Análisis Técnico-Financiero de la Generación Distribuida en la CNFL*.
- Martínez, P. R. (2012). *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento*. Marcombo.
- Mateo, V. M. (2015). *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.

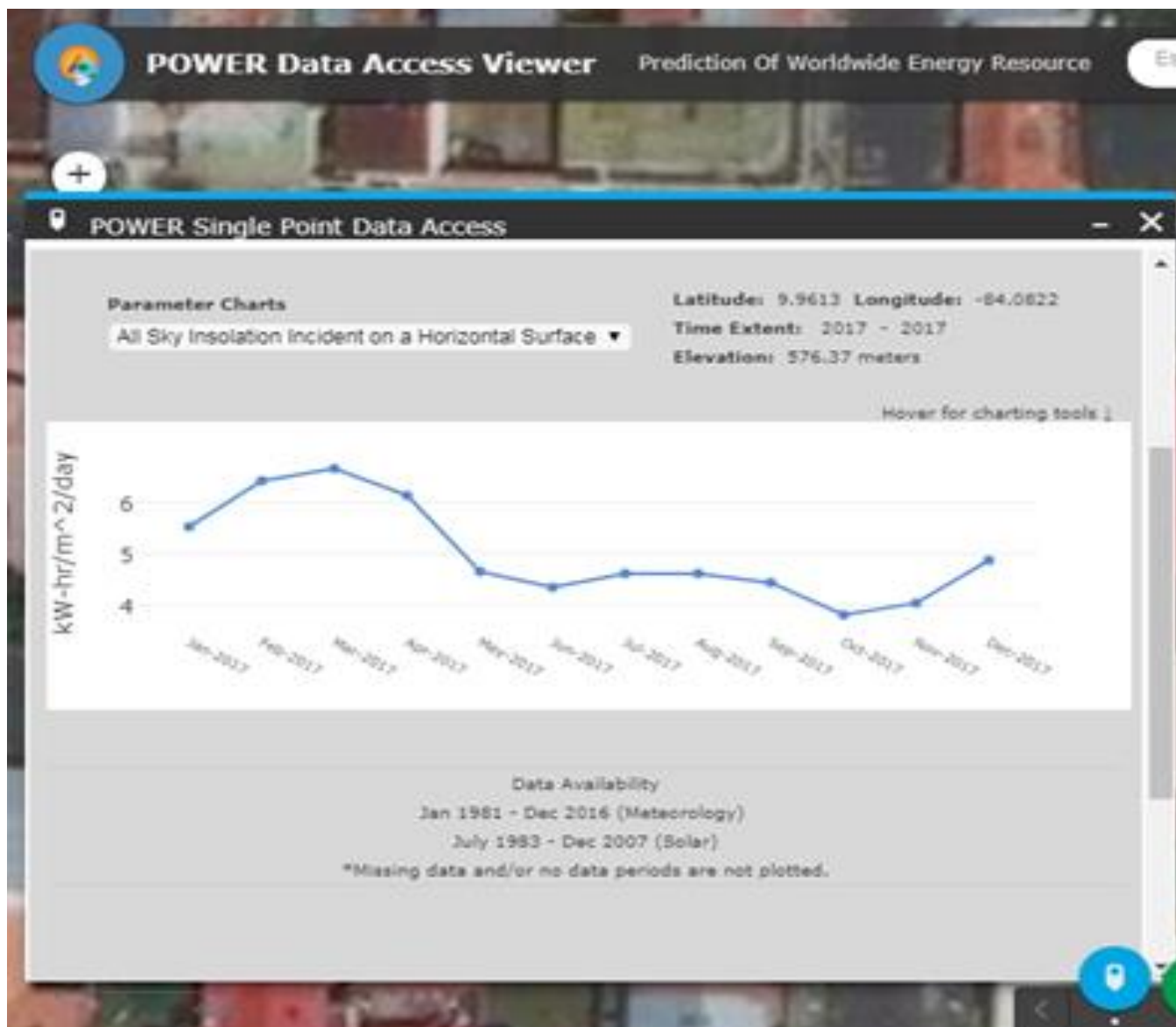
- Mateo, V. M. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Microinversores, D. e. (8 de Abril de 2016). *Volt Ingeniería* . Obtenido de Grupo Volt de RL de CV: <http://www.voltingeneria.com.mx/single-post/2016/04/08/Diferencia-entre-los-Inversores-Centrales-y-los-Microinversores>
- Miguel Ángel Carrasco Hernández, L. M. (2012). *Instalaciones eléctricas básicas*. Editorial Paraninfo.
- Navarro, J. (11 de Octubre de 2010). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/energia-solar.php>
- Penalva, J. (5 de Marzo de 2018). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/especiales/como-elegir-una-bombilla-led-para-ahorrar-en-la-factura-de-la-luz>
- Perpiñán, O. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Creative Commons.
- Regalado Bobadilla, K., & Quispe Chanampa, M. (2015). Estudio y Simulación de un sistema de refrigeración solar fotovoltaico en Piura utilizando software TRNSYS. *XXII Simposio Peruano de Energía Solar* (pág. 12). Arequipa: Universidad De Piura.
- Saclima Solar Fotovoltaica S.L. (2016). *Saclima Solar Fotovoltaica S.L*. Obtenido de SACLIMA SOLAR FOTOVOLTAICA: <http://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/estructuras-para-paneles-solares-tipos-y-caracteristicas/>
- Serrano, J. C. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo S.A.
- SFE Solar Logistic SL. (2017). *SFE Solar Logistic SL*. Obtenido de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-de-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- SunFields Europe. (2015). *Calcular paneles solares necesarios para un sistema fotovoltaico*. Obtenido de SFE Solar Logistic SL: <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>
- Tecnología Solar e Hidráulica S.L. (2016). *Tecnosol*. Obtenido de Tecnosol S.C.L.: <https://tecnosolab.com/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>

APÉNDICES

Apéndice A. Imagen aérea de la ubicación de la empresa.




Apéndice B. Captura de pantalla de la información otorgada por la aplicación POWER de NASA.



Apéndice C. Copia de factura de la empresa

F-00

FACTURA
62190716


Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.
Cédula Jurídica 3-101-000046-36
COPIA DEL COMPROBANTE DEL CLIENTE

NISE

NOMBRE	TOTAL PROTECTION SYSTEMS S.A.			NÚMERO CÉDULA:	3101414022	
DIRECCIÓN	325 O BOTICA SANJUAN					
PROVINCIA	SAN JOSÉ	CANTÓN	TIBAS	DISTRITO	SAN JUAN	
TARIFA APLICADA	LOCALIZACIÓN		NÚMERO DE MEDIDOR			
TG COMERCIAL						
TIPO DE SERVICIO	SUB ESTACIÓN		CIRCUITO			
ENERGÍA	COLIMA		308 TIBAS			
DEPÓSITO DE GARANTÍA	DÍAS FACTURADOS	FECHA FACTURA ACTUAL	FECHA FACTURA ANTERIOR	FECHA PRÓXIMA FACTURA	FECHA EMISIÓN-PUESTA AL COBRO	
¢ 56,680.00	30	19-SEP-2018	20-AGO-2018	19-OCT-2018	21-SEP-2018	
CONSUMO kWh	CONSUMO DIARIO (kWh)	COSTO POR kWh DE ALUMBRADO PÚBLICO	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	RAZÓN ESTIMACIÓN
889	29,63	¢ 3.55	64154	63265	1	NO ESTIMADA

FACTURACIÓN			HISTORIAL DE CONSUMO kWh			MES AL COBRO
COD.	DETALLE	IMPORTE	MES	AÑO	kWh	
1	ENERGÍA	¢ 108,610.00	4	2018	180	09-2018
CVC	COSTO VARIABLE COMBUSTIBLE	¢ 665.00	5	2018	261	
6	ALUMBRADO PÚBLICO	¢ 3,155.00	6	2018	371	
22	MORA MESES ANTERIORES PAGO VENCIDO.	¢ 2,920.00	7	2018	200	FECHA DE VENCIMIENTO
24	IMPUESTO DE VENTAS.	¢ 14,205.00	8	2018	763	08-OCT-2018
TRB	TRIBUTO BOMBEROS	¢ 1,910.00	9	2018	889	
			VALOR EMISIÓN			CARGO POR CANCELACIÓN TARDÍA
			131,465.00			¢ 0.00
			SALDO ACTUAL			TOTAL POR PAGAR
			0.00			¢ 0.00
			1			

MES(ES) PENDIENTE(S)
 A la fecha de emisión de la factura
SUSTO YA CANCELÓ FAVOR OMITIR ESTE AVISO

Autorización mediante resolución 11-97 de la Dirección General de Tributación

Apéndice D. Desglose de tarifas de la CNFL

- 1 ENERGÍA**
- CVC COSTO VARIABLE COMBUSTIBLE**
- 6 ALUMBRADO PÚBLICO**

Desglose de Tarifas		
Código	Bloque Consumo (kWh)	Precio
1	0 a 99999999	¢ 122.17
CVC	0 a 99999999	¢ .75
6	0 a 50000	¢ 3.55

Apéndice E. Tarifas de acceso (TA) para distintas empresas.

Empresa	Tarifa de acceso (TA) ¢/kWh
ICE	28,3
CNFL	18,0
JASEC	14,6
ESPH	11,6
COOPELESCA	29,4
COOPEGUANACASTE	21,3
COOPESANTOS	29,7
COOPEALFARO	28,6

Apéndice F. Tabla resumen de la facturación de la empresa.

Historico de Facturación de la empresa. Periodo Oct. 17 - Sep. 18											
#	Fecha	Lectura Medidor	Consumo (kWh)	Energia	Cost. Var. Combustible	Alumbrado Publico	Canc. Atrasado	Imp. Ventas	Tributo Bomberos	Mto. Total Factura (€)	
1	Oct-17	60686	102	CRC 11,530.00	CRC 40.00	CRC 360.00	CRC 165.00	CRC 1,505.00	CRC 200.00	CRC 13,800.00	
2	Nov-17	60820	134	CRC 15,855.00	CRC 0.00	CRC 470.00	CRC 365.00	CRC 2,060.00	CRC 275.00	CRC 19,025.00	
3	Dec-17	60999	179	CRC 21,175.00	CRC 0.00	CRC 630.00	CRC 500.00	CRC 2,755.00	CRC 370.00	CRC 25,430.00	
4	Ene-18	61118	119	CRC 14,135.00	CRC 155.00	CRC 420.00	CRC 670.00	CRC 1,860.00	CRC 250.00	CRC 17,490.00	
5	Feb-18	61270	152	CRC 18,115.00	CRC 355.00	CRC 535.00	CRC 460.00	CRC 2,400.00	CRC 325.00	CRC 22,190.00	
6	Mar-18	61490	220	CRC 26,220.00	CRC 515.00	CRC 770.00	CRC 0.00	CRC 3,475.00	CRC 470.00	CRC 31,450.00	
7	Abr-18	61670	180	CRC 21,450.00	CRC 315.00	CRC 640.00	CRC 825.00	CRC 2,830.00	CRC 380.00	CRC 26,440.00	
8	May-18	61931	261	CRC 31,105.00	CRC 360.00	CRC 925.00	CRC 0.00	CRC 4,090.00	CRC 550.00	CRC 37,030.00	
9	Jun-18	62302	371	CRC 44,215.00	CRC 510.00	CRC 1,315.00	CRC 970.00	CRC 5,815.00	CRC 785.00	CRC 53,610.00	
10	Jul-18	62502	200	CRC 24,195.00	CRC 200.00	CRC 710.00	CRC 1,410.00	CRC 3,170.00	CRC 425.00	CRC 30,110.00	
11	Aug-18	63265	763	CRC 93,215.00	CRC 570.00	CRC 2,710.00	CRC 795.00	CRC 12,190.00	CRC 1,640.00	CRC 111,120.00	
12	Sep-18	64154	889	CRC 108,610.00	CRC 665.00	CRC 3,155.00	CRC 2,920.00	CRC 14,205.00	CRC 1,910.00	CRC 131,465.00	
Total			742207	3570	CRC 429,820.00	CRC 3,685.00	CRC 12,640.00	CRC 9,080.00	CRC 56,355.00	CRC 7,580.00	CRC 519,160.00

Apéndice G. Costo de interconexión por medidor

- COSTO DE INTERCONEXIÓN

Son los costos asociados al proceso de interconexión del sistema de generación distribuido de autoconsumo (contempla las diferentes etapas del proceso, inspecciones, estudios, más el costo de los medidores).

Sistema de Medición Monofásico

Costo (no incluye medidores)	€125 .000 mil
Visitas adicionales/Re inspección	€30 000 mil
Calibración	€80 000 mil

Sistema de Medición Monofásico con demanda- Trifásico en baja tensión

Costo (no incluye medidores)	€250 000 mil
Visitas adicionales/Re inspección	€60 000 mil
Calibración	€80 000 mil

Sistema de Medición Trifásico con Calidad de Energía

Costo (no incluye medidores)	€400 000 mil
Visitas adicionales/Re inspección	€100 000 mil
Calibración	€80 000 mil

Apéndice H. Ficha técnica de panel solar Canadian Solar 300W Mono 300MS (1)



SUPERPOWER CS6K-290 | 295 | 300MS

Canadian Solar's new SuperPower modules with Mono-PERC cells significantly improve efficiency and reliability. The innovative technology offers superior low irradiance performance in the morning, in the evening and on cloudy days, increasing the energy output of the module and the overall yield of the solar system.

KEY FEATURES

-  11 % more power than conventional modules
-  Excellent performance at low irradiance: 97.5 %
-  High PTC rating of up to 91.87 %
-  Improved energy production due to low temperature coefficients
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25 years linear power output warranty

10 years 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 / MCS / CEC, AU
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way
UNE 9177 Reaction to Fire: Class 1



* 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.

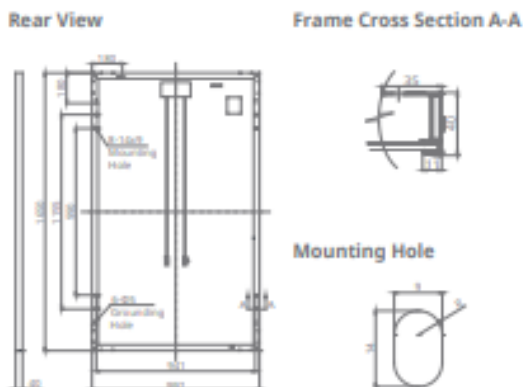
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR (USA) INC.

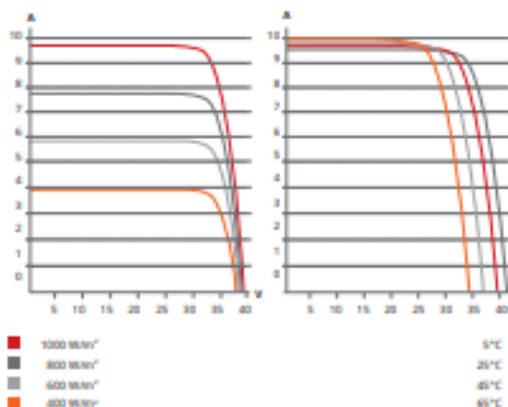
2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385 | www.canadiansolar.com/na | sales.us@canadiansolar.com

Apéndice I. Ficha técnica de panel solar Canadian Solar 300W Mono 300MS (2)

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-295MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	290MS	295MS	300MS
Nominal Max. Power (Pmax)	290 W	295 W	300 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	32.1 V	32.3 V	32.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.05 A	9.14 A	9.24 A
Open Circuit Voltage (Voc)	39.3 V	39.5 V	39.7 V
Short Circuit Current (Isc)	9.67 A	9.75 A	9.83 A
Module Efficiency	17.72 %	18.02 %	18.33 %
Operating Temperature	-40°C – +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 – +5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1650 × 992 × 40 mm (65.0 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG
Connector	T4 (IEC/UL)
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per container (40' HQ)	728 pieces

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6K	290MS	295MS	300MS
Nominal Max. Power (Pmax)	210 W	213 W	216 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	29.0 V	29.2 V	29.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.25 A	7.30 A	7.35 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.2 V	36.4 V	36.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.74 A	7.83 A	7.92 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.30 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45 ± 2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Excellent performance at low irradiance, average relative efficiency of 97.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

PARTNER SECTION



Apéndice J. Ficha técnica de inversor Schneider Conext SW 2,5 kW SW 2524 E (1)

Conext SW hybrid inverter/charger

New value in off-grid solar and backup power

Conext™ SW delivers new value and a new price point to installers and system owners globally. Perfect for off-grid, backup power and self-consumption applications, it is a pure sine wave, inverter/charger system with switchable 50/60 Hz frequencies, providing power for every need.

For expanded off-grid capacity, the Conext SW is integrated with fuel-based generators as required to support loads larger than the generator's output. It's also self-consumption ready, able to prioritize solar consumption over the grid, while maintaining zero grid export. The Conext SW works with the grid to avoid peak utility charges and support the grid when utility supply is limited. Accessories include pre-wired universal DC distribution panel and AC distribution panels. Stacking two Conext SW units will double the system's total output power and available solar charge controllers allow for the integration of solar capacity as required.

Why choose Conext SW?



Higher return on investment

- Cost effective
- Excellent load start capabilities with high 30-minute and 5-second surge power
- Harness the continuously declining production cost of solar power



Designed for reliability

- Robust design through rigorous reliability testing (HALT)



Flexible

- Available in 24VDC and 48VDC models. All models support both 50Hz and 60Hz output
- Stack two units to double output power up to 8 kW
- Supports AC coupled and DC coupled off-grid and grid-tie architectures
- Intelligent functionality enables self-consumption with solar prioritization, peak shaving and, assisting small generators with heavy loads



Easy to service

- Monitor, troubleshoot or upgrade firmware with the Conext ComBox
- Global support and training
- Replaceable boards and spare parts



Easy to install

- Configures quickly into compact wall mounted system
- Companion breaker panels integrate inverter with battery bank and solar charge controllers
- Mounting bracket design makes hanging inverter on the wall easy



Product applications



Residential backup power



Off-grid solar

Apéndice K. Ficha técnica de inversor Schneider Conext SW 2,5 kW SW 2524 E (2)

Conext SW inverter/charger

Device short name	SW 2524 E	SW 4024 E	SW 4048 E
Electrical specifications - inverter			
Output power (continuous) at 25°C	2500 W	3400 W	3400 W
Output power (30 min) at 25°C	2800 W	4000 W	4000 W
Output power (5 sec) at 25°C	5000 W	7000 W	7000 W
Peak current	24.3 A	42 A	42 A
Output frequency	50 / 60 Hz selectable	50 / 60 Hz selectable	50 / 60 Hz selectable
Output voltage	230 Vac	230 Vac	230 Vac
Output wave form	True sine wave	True sine wave	True sine wave
Optimal efficiency	91.5%	92%	92%
Idle consumption search mode	<11 W	<11 W	<11 W
Input DC voltage range	20 - 34 Vdc	20 - 34 Vdc	40 - 68 Vdc
AC connections	Single phase	Single phase	Single phase
Electrical specifications - charger			
Output current	65 A	90 A	45 A
Nominal output voltage	24 Vdc	24 Vdc	48 Vdc
Output voltage range	12 - 32 Vdc	12 - 32 Vdc	24 - 64 Vdc
Charge control	3 stage	3 stage	3 stage
Charge temperature compensation	Yes - BTS included	Yes - BTS included	Yes - BTS included
Optimal efficiency	90%	90%	90%
AC input power factor	> 0.98	> 0.98	> 0.98
Input current	10.6 A	14.0 A	14.0 A
Input AC voltage	230 Vac	230 Vac	230 Vac
Input AC voltage range line to neutral	170 - 270 Vac	170 - 270 Vac	170 - 270 Vac
Dead battery charge	Yes	Yes	Yes
General specifications			
Compatible battery types	FLA, Gel, AGM, Custom	FLA, Gel, AGM, Custom	FLA, Gel, AGM, Custom
Transfer risley rating	30 A	30 A	30 A
Transfer time (AC to inverter and inverter to AC)	<1 cycle (20 ms)	<1 cycle (20 ms)	<1 cycle (20 ms)
Optimal operating temperature range	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)
Storage ambient temperature range	-40°C to 85°C (-40°F to 185°F)	-40°C to 85°C (-40°F to 185°F)	-40°C to 85°C (-40°F to 185°F)
Humidity Operation / storage	<=95% RH, non condensing	<=95% RH, non condensing	<=95% RH, non condensing
Ingress protection rating	Indoor only, IP20	Indoor only, IP20	Indoor only, IP20
Altitude (operating)	2000 m (6562 ft)	2000 m (6562 ft)	2000 m (6562 ft)
Product weight	22.3 kg (49.0 lb)	28.1 kg (62.0 lb)	28.1 kg (62.0 lb)
Shipping weight	27.2 kg (60.0 lb)	35.0 kg (77.1 lb)	35.0 kg (77.1 lb)
Product dimensions (H x W x D)	41.8 x 34.1 x 19.7 cm (16.5 x 13.4 x 7.6 in)	41.8 x 34.1 x 19.7 cm (16.5 x 13.4 x 7.6 in)	41.8 x 34.1 x 19.7 cm (16.5 x 13.4 x 7.6 in)
Shipping dimensions (H x W x D)	56.0 x 44.0 x 32.0 cm (22.0 x 17.3 x 12.6 in)	56.0 x 44.0 x 32.0 cm (22.0 x 17.3 x 12.6 in)	56.0 x 44.0 x 32.0 cm (22.0 x 17.3 x 12.6 in)
System network and remote monitoring	Available	Available	Available
Warranty (Depending on the country of installation)	2 or 5 years	2 or 5 years	2 or 5 years
Part number	865-2524-61	865-4024-61	865-4048-61
Regulatory approvals			
Safety	CE mark , RCM mark IEC/EN62109-1, IEC/EN62109-2	CE mark , RCM mark IEC/EN62109-1, IEC/EN62109-2	CE mark , RCM mark IEC/EN62109-1, IEC/EN62109-2
Compatible products			
Universal DC distribution panel	865-1016		
AC distribution panel (120/240 V)	865-1017		
AC distribution panel (230 V)	865-1017-61		
Conext System Control Panel	865-1050		
Conext Automatic Generator Start	865-1060		
Conext ComBox	865-1058		
Conext MPPT 60 150 solar charge controller	865-1030-1		
Conext SW On/Off Remote Switch	865-1052		
Conext SW Stacking Kit	865-1019-61 for 230 Vac, 865-1019 for 120/240 Vac		
Conext Portable Installation and Configuration Tool	Product no. 865-1155-01		

Specifications are subject to change without notice.

Apéndice L. Representación de estructura por utilizar para los paneles.

ESTRUCTURA DE FIJACIÓN PARA 3 PANELES.



La estructura de fijación para 3 paneles está compuesta por:



TRIANGULOS X 2



CARRILES X 2
(3,2m)



CONECTOR CARRIL
EN CRUZ X 8



FIJADOR LATERAL X 4

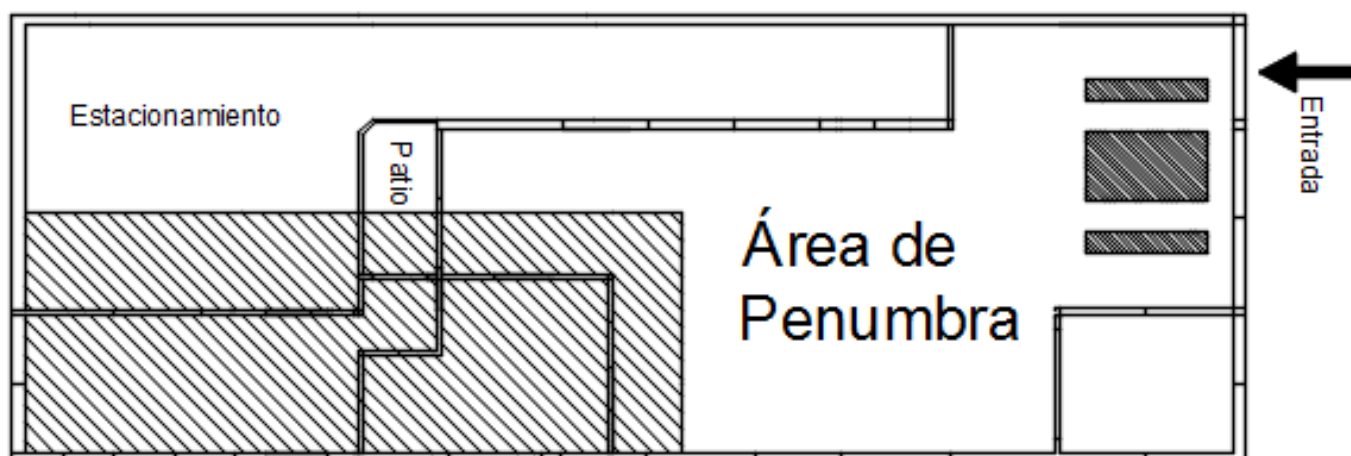
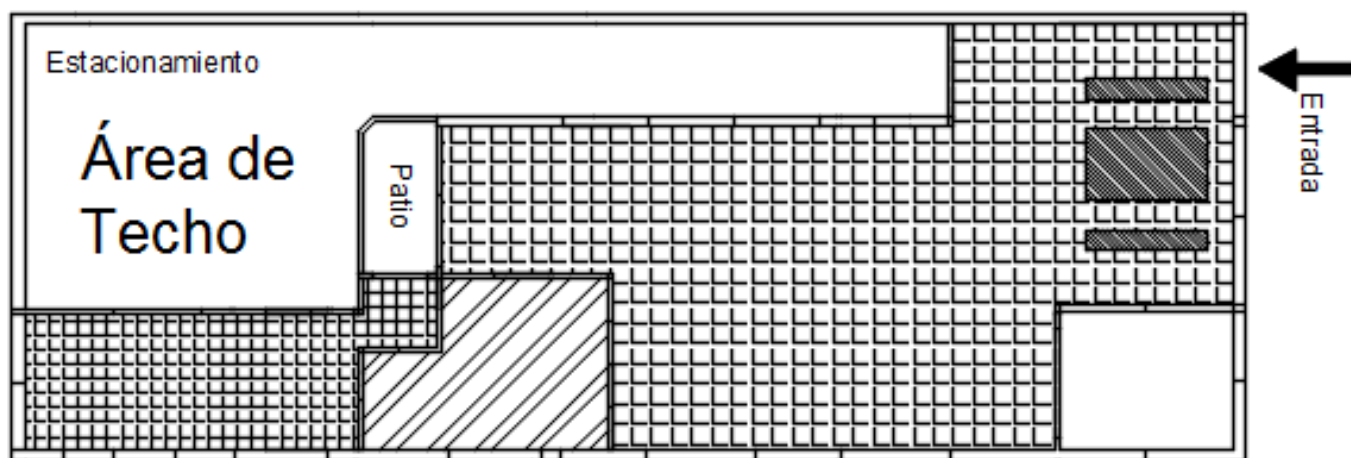


FIJADOR INTERMEDIO X 4

Apéndice M. Desglose de cotización pedida

Componentes	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
<i>Canadian Solar 300W 60 Cell Mono 1000V Solar Panel, CS6K-300MS</i>	7	\$ 270.00	\$ 1 890.00
<i>Schneider Conext SW 2.5kW 120/240VAC 24VDC Inverter/Charger</i>	1	\$ 1 400.00	\$ 1 400.00
<i>Racking Kit 4 Solar Panel Flat Cover</i>	2	\$ 355.00	\$ 710.00
Costo Total del Proyecto			\$ 4 000.00

Apéndice N. Captura de plano del techo de la empresa y su área de penumbra.



Apéndice O. BN Soluciones Eco Tecnología

DIRECCION BANCA DE CONSUMO
SUBGERENCIA GENERAL DE DESARROLLO



BN Soluciones: Financiamiento para Créditos Personales

BN Soluciones Eco tecnología es una solución financiera con tasa preferencial para invertir en tecnologías limpias (paneles y calentadores solares, aerogeneradores, ahorradores de agua, gas y energía, aislantes térmicos, etc), las cuales tienen como objetivo disminuir el consumo de energías eléctricas originadas de forma tradicional.



- **Garantías, Montos y Plazos****

De acuerdo a la garantía que el cliente ofrezca,

- ≈ **Garantía back to back o hipoteca sobre la vivienda del deudor**
Desde €300 mil Hasta €100 millones de colones
Plazo: Colones: Hasta 20 años
- ≈ **Otros tipos de hipotecas**
Desde €300 mil Hasta €65 millones de colones
Plazo: Colones: Hasta 20 años
- ≈ **Fianza**
Desde €300 mil Hasta €15 millones de colones
Plazo: Colones: Hasta 8 años

** En cualquiera de los casos el cliente deberá tener capacidad de pago, aprobar los estudios crediticios internos y la garantía estar a satisfacción del BNCR)

Requisitos:

Documento de identificación (original y copia).

Constancia salarial y/o Certificación de Ingresos (trabajador independiente).

Orden patronal (asalariados) (original y copia).

Recibo de servicio público donde se puede confirmar la dirección (original y copia).

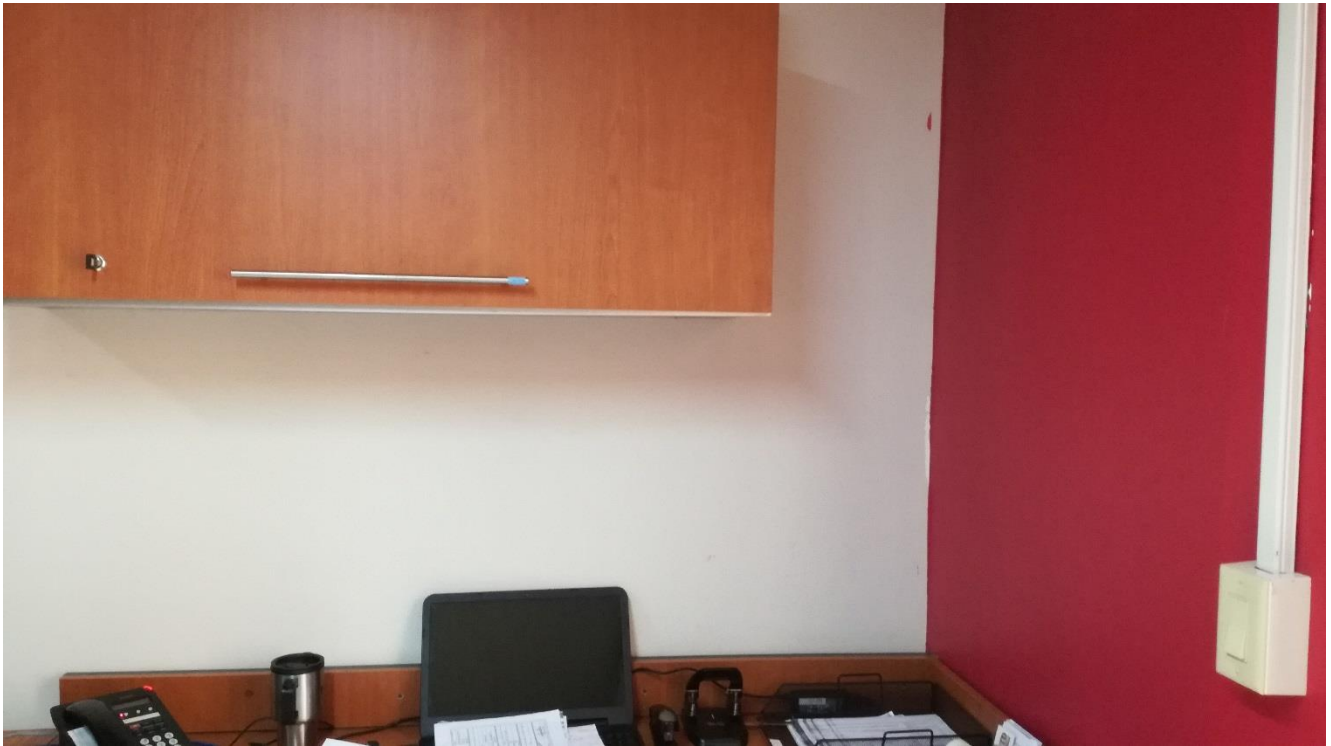
Para garantías hipotecarias: Informe registral, plano catastro (original y copia)

Factura Proforma

- **Tasa de interés Preferencial para ecologías limpias :** (a hoy)

PRODUCTOS	TASAS COLONES
BN Soluciones Ecotecnología	Tbbccr+10.05 % =15.5%

Apéndice P. Imágenes de las oficinas de la empresa



Apéndice Q. CFL MINI-LINX SPIRAL 1520 lm, 25 W

SYLVANIA**CFL MINI-LINX SPIRAL**

Hogar

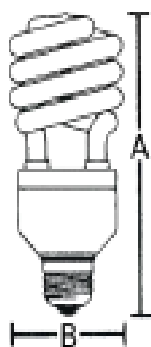
Pasillos

Usos Generales

DESCRIPCIÓN:

Lámpara fluorescente compacto con bulbo tipo espiral en caja de 3 unidades.

CÓDIGO: P38788

DIMENSIONES

A	B	Unid.
122	52	mm

ESPECIFICACIONES FOTOMETRICAS

Característica	Dato	Unidad
Flujo Lumínico	1520	lm
Temperatura de Color (CCT)	6500	K
Índice Reproducción Color (CRI)	80	%
Color de luz	Luz Día	-
Eficiencia luminosa promedio	61	lm/W

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS

Consumo de Potencia	25	W
Voltaje de Entrada	120-127	V
Corriente	429	mA
Frecuencia	50/60	Hz
Factor de Potencia	0.5	-
Balastro	Integrado	-
Atenuable	No	-

ESPECIFICACIONES FÍSICAS

Vida útil	10 000	h
Temperatura máx. operación	45	°C
Tipo de Base	E27	-
Tipo de Bulbo	Espiral T2	-
Acabado	Blanco	-
Empaque	Caja 3 unidades	-
Garantía	1	Años

Apéndice R. UL1515 2CFL D6



Compacta y eficiente, para empotrar en todo tipo de cielos
 Compact and efficient, for recessed installation in all types of ceilings

- Oficinas / Offices
- Comercios / Commercial
- Escuelas / Schools

- Luminaria para instalación empotrada en todo tipo de cielos, utiliza un marco tipo bisagra para el montaje de los difusores. Disponible con 1 ó 2 bases E27 para utilizarla con fluorescentes compactos o bases para 1 ó 2 fluorescentes de pines.
- It uses a hinged frame for the diffuser mounting. Available with 1 or 2 E27 bases to use them with compact fluorescents or pin bases for 1 or 2 fluorescent.

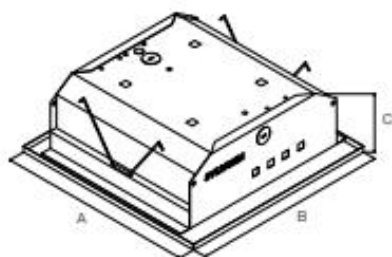
Información para ordenar / Ordering Information*

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS					OPCIONES DE SELECCIÓN ÚNICA / SINGLE CHOICE OPTIONS					MÁS INFORMACIÓN / MORE INFO			
Modelo	Balastro	Long. Tubo	Cent. Lamp.	Volaje	BATERÍA / BATTERY	DIFUSORES / DIFFUSERS					Consumo Consumption	Flujo Lumínico Luminous Flux	
Model	Ballast	Tube long.	Lamp. Qty.	Wattage		BE1T	#1	#2	#4	#6			PLS
1515	CFL	T2 (máx.)	1B	25W		*	*	*	*	*	120V	25W	**
		T2 (máx.)	2B	25W		*	*	*	*	*	120V	25W	**
	E	N/A	1	25W	▼	*	*	*	*	*	120V/277V	25W	1710 lm
		N/A	2	25W	▼	*	*	*	*	*	120V/277V	51W	3420 lm
		N/A	1	13W	▼	*	*	*	*	*	120V/277V	18W	900 lm
		N/A	2	13W	▼	*	*	*	*	*	120V/277V	32W	1800 lm

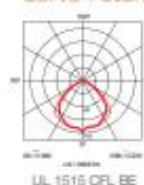
*El flujo luminoso depende de la tecnología a utilizar / **The luminous flux depends on the technology used

Dimensiones / Dimensions (mm)

Dimensión Nominal (1x1)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
	280	280	100



Curva Fotométrica / Photometric Curve

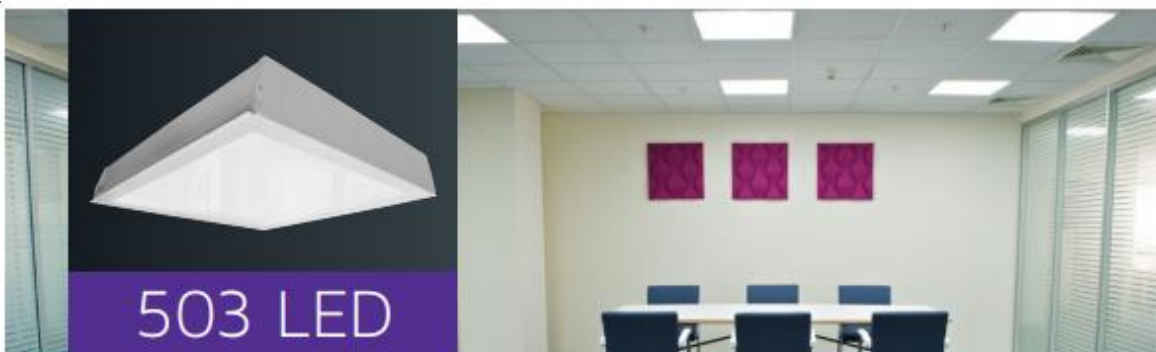


*Ver listado de códigos de producto en página 83 / *See list of product codes in page 83
 Para otras configuraciones, consultar con su asesor comercial. / For other configurations, consult with your sales representative.
 Sylvania se reserva el derecho de modificar y/o cambiar este producto o sus especificaciones técnicas sin notificación previa. / Sylvania reserves the right to modify and/or change this product or its technical specifications without previous notification.



Descargables y otros contenidos
 Downloadables and other contents

Apéndice S. UL 503 2/4200 LM 4KTL 2x2 D1 C/T



Diseño minimalista, limpio y elegante con un excelente rendimiento
 Minimalist, clean and elegant design with an excellent performance

- Luminaria LED para aplicaciones comerciales, industriales y arquitectónicas
- Luminaria para empotrar en cielo suspendido de tipo "T" invertido de 1 pulgada de alto, de madera, cielo Gypsum o tabla yeso.
- LED fixture for commercial, industrial and architectural applications.
- LED fixture for recessed installation in suspended ceilings, inverted "T" type of 1 inch high, of wood or Gypsum.

- Oficinas / Offices
- Escuelas / Schools
- Comercios / Commercial

Información para ordenar / Ordering Information*

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS					OPCIONES DE SELECCIÓN ÚNICA / SINGLE CHOICE OPTIONS				MÁS INFORMACIÓN / MORE INFO				
Modelo / Model	Tipo LED / LED type	Cant. Barras LED / LED Bars Qty.	Flujo Lum. / Lum. Flux	Dimensión / Dimension	DIFUSOR / DIFFUSER		INSTALACIÓN / INSTALLATION		Voltaje / Voltage	Consumo / Consumption	Amperaje / Amperage	Lm / W	
					#1	Opal	B-Shape	Cielo Susp. / Susp. Ceiling	Gypsum				
UL 503 - SMD-S2 LED	2	2340 lm	2x2	•	•	•	•	•	•	120V	23.5W	N/A	100
	4	4700 lm	2x4	•	•	•	•	•	•	120V	47W	N/A	100
	6	7050 lm	2x4	•	•	•	•	•	•	120V	70.5W	N/A	100
	2	4200 lm	2x2	•	•	•	•	•	•	Multivoltaje	36W	510 mA	116
	2	4080 lm	2x2	•	•	•	•	•	•	Multivoltaje	45W	620 mA	110
	3	6300 lm	2x2	•	•	•	•	•	•	Multivoltaje	54W	510 mA	116
	4	6000 lm	2x4	•	•	•	•	•	•	Multivoltaje	50W	350 mA	120
	4	9960 lm	2x4	•	•	•	•	•	•	Multivoltaje	90W	620 mA	110
	6	12600 lm	2x4	•	•	•	•	•	•	Multivoltaje	108W	510 mA	116

*Multivoltaje: luminaria ajustable 0-10V / Multivoltage: dimmable fixture 0-10V

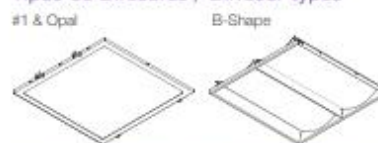
CRi = 84
 THD Máx. <20%

Dimensiones / Dimensions

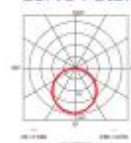
Dimensión Nominal	A (mm)	B (mm)	C (mm)
2x2	607	602	101
2x4	1216	602	101



Tipos de Difusores / Diffuser types



Curva Fotométrica / Photometric Curve



UL 503 LED SMD-S2
 (E 7020lm 2x4 Opal)

La luminaria opera con una temperatura de color de 4000K. *Para otras configuraciones a nivel de flujo luminoso y temperatura de color, consultar con su asesor comercial.
 Sylvania se reserva el derecho de modificar y/o cambiar este producto o sus especificaciones técnicas sin notificación previa.
 The fixture operates with a color temperature of 4000K. *For other configurations in terms of luminous flux and color temperature, consult with your sales representative.
 Sylvania reserves the right to modify and/or change this product or its technical specifications without previous notification

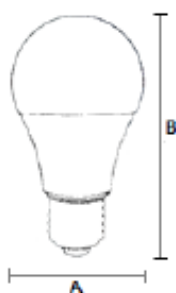


Apéndice T. LED A67 15W 1450 LM 6500K

LED A67 15W



DIMENSIONES



A	B	Unid.
67	115	mm

SYLVANIA

Hogar

Pasillos

Usos Generales

DESCRIPCIÓN:

Lámpara led con bulbo tipo A60 de 15W y vida útil de 25 000 horas. Temperatura de color de 6500K.

CÓDIGO: P26659

ESPECIFICACIONES FOTOMÉTRICAS

Característica	Dato	Unidad
Flujo Luminoso	1450	lm
Temperatura de Color (CCT)	6500	K
Índice Reproducción Color (CRI)	>80	%
Color de luz	Bianco Calido	-
Eficacia luminosa promedio	97	lm/W

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Consumo de Potencia	15	W
Tensión de Entrada	120 a 240	V
Corriente	179 (120V)-89(240V)	mA
Frecuencia	50/60	Hz
Driver/Balastro	Integrado	-
Atenuable	No	-

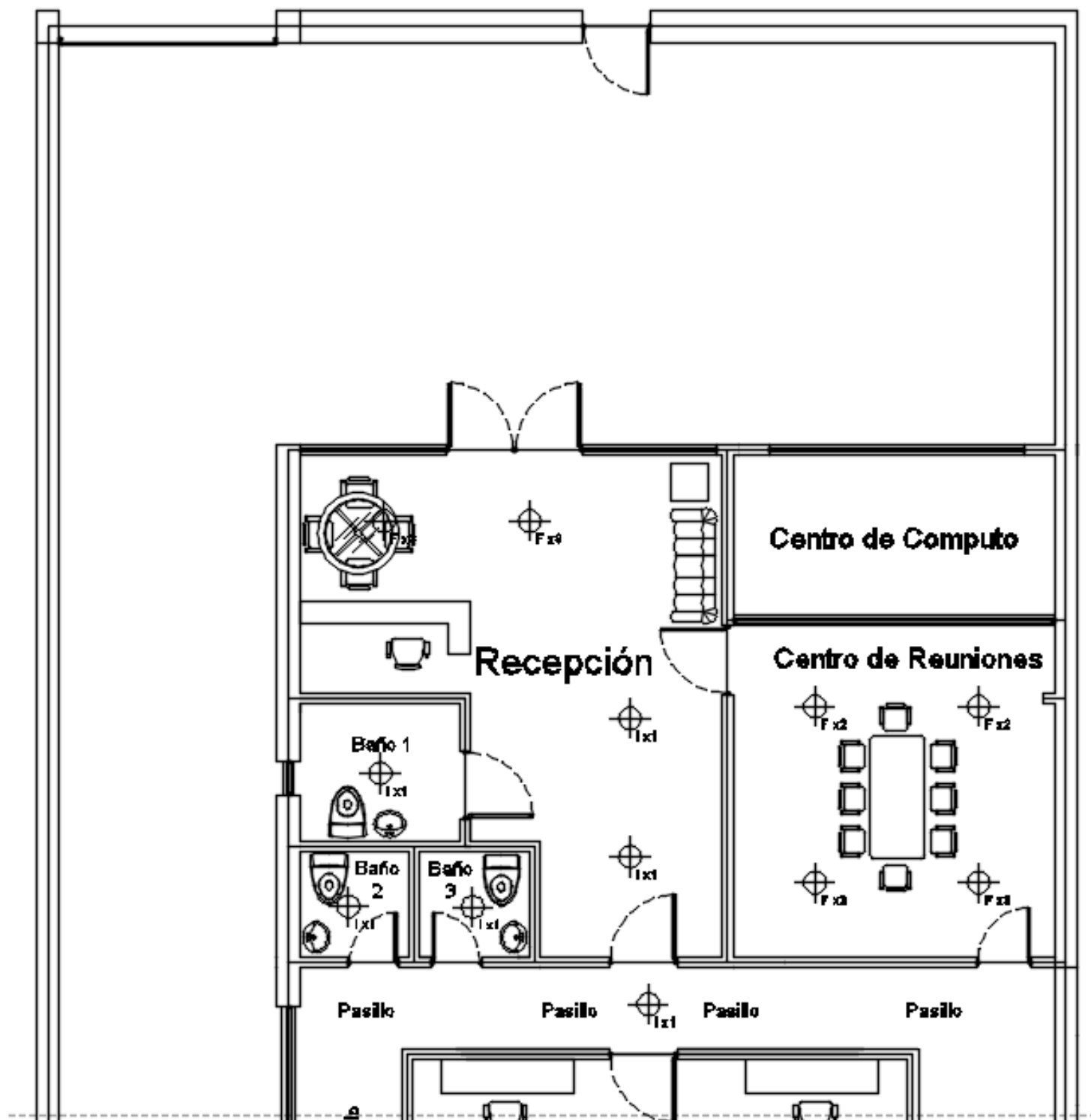
ESPECIFICACIONES FÍSICAS

Vida útil	25 000	h
Tipo de Base	E27	-
Tipo de Bulbo	A67	-
Acabado	Bianco	-
Diffusor	Bianco Opaco	-
Empaque	Blistar unitario	-
Garantía	3	Años

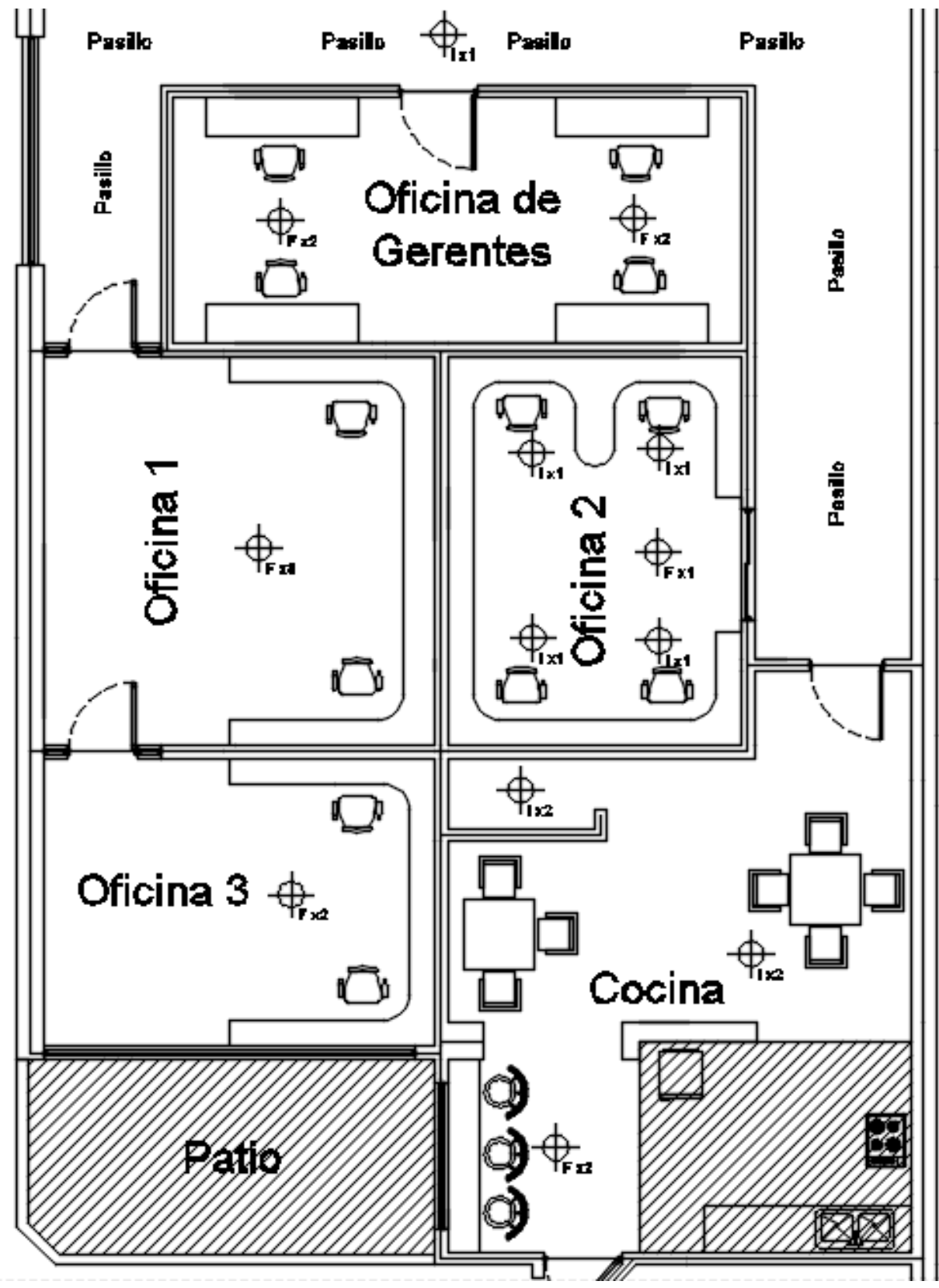
Apéndice U. Cotización de iluminación

Lin.	Cantidad	Código	Descripción	Precio	Total Neto	I.V.	Entrega
1	50	P04102-20	UL1515 2CFL D6	26,822.99	1,341,149.50	13	15 días
2	35	P03706-22	UL503 2/4200L 4KTL 2X2 D1 C/T	74,250.00	2,598,750.00	13	15 días
3	33	P28398-19	CFL EU 25W 6K H 6500K T2 BX3	4,512.00	148,896.00	0	15 días
4	6	P26659-36	LED A67 15W 1450LM 6500K	3,571.42	21,428.52	13	20 semanas
				Subtotal:	4,110,224.02		
				Impuestos:	514,972.63		
				TOTAL:	4,625,196.65		

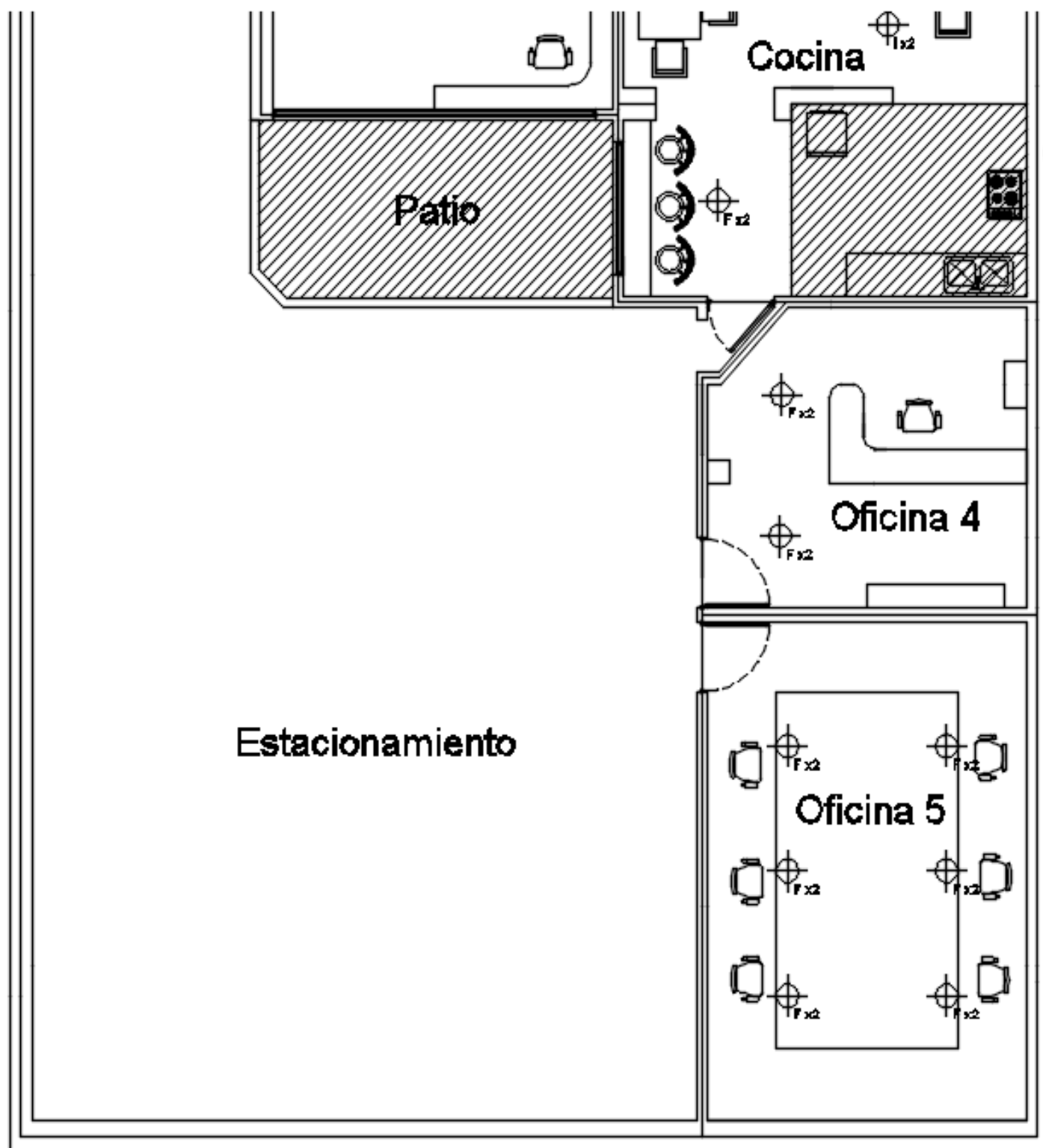
Apéndice V. Planta arquitectónica elaborada para la empresa (1).



Apéndice W. Planta arquitectónica elaborada para la empresa (2)



Apéndice X. Planta arquitectónica elaborada para la empresa (3)



Apéndice Y. Cotización de Micro Inversor para caso 2 y caso 4

Componentes	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
ChiliconPower 290W 240/208VAC 60/72 Cell Microinverter	7	\$ 200.00	\$ 1 400.00
Costo Total del Proyecto			\$ 1 400.00

Apéndice Z. Micro Inversor ChiliconPower 290W 240/208VAC 60/72 (1)

Chilicon Power Microinverters

CHILICON POWER CP-250E



Made in USA

Reliability by Design

Enhanced Monitoring

Modular Trunk Cabling

AC Coupling with Freq-Watt and Volt-Watt Modes



To learn more about Chilicon Power Microinverters, visit chiliconpower.com

Apéndice AA. Micro Inversor ChiliconPower 290W 240/208VAC 60/72 (2)

CP-250E-60-72-208/240-MC4 Microinverter Specifications

INPUT DATA (DC)

Recommended input power (STC)	190 - 345 W
Maximum DC input voltage	60 V
MPPT voltage range	22 – 38.5 V
Operating range	18 – 38.5 V
Min./Max. start voltage	22 – 47 V
Max. DC input short circuit current	21 A
Max. DC input current	12 A
Ground fault protection	Transformer isolated 2000 Vrms input/output/chassis

OUTPUT DATA (AC)

	@ 208 V	@ 240 V
Max. continuous output power	277 W	289 W
Max. continuous output current	1.33 A	1.20 A
Nominal output voltage / range	208 / 183 – 229 V	240 / 211 – 264 V
Extended output voltage range	133 / 150 / 166 – 250 V	153 / 173 / 192 – 288 V
Nominal frequency* / range	60.0 / 59.3 – 60.5 Hz	60.0 / 59.3 – 60.5 Hz
Extended frequency range	54.22 – 66.75 Hz	54.22 – 66.75 Hz
Power factor	-0.8 to 0.8 programmable	-0.8 to 0.8 programmable
Maximum units per branch circuit	18 (30A 10 AWG) / 12 (20A 12AWG)	20 (30A 10AWG) / 13 (20A 12AWG)
Maximum output fault current & duration	1.6 A peak for > 10% of any cycle	1.6 A peak for > 10% of any cycle
Maximum output overcurrent protection	6.3 A	6.3 A
*50Hz operation; 50.0 / 49.5 – 50.5 Hz	45.2 – 55.7 Hz extended range	Bond Trunk Red to White for 1Ø system

EFFICIENCY

CEC weighted efficiency	96 %
Peak inverter efficiency	96.6 %
Static MPPT efficiency (EN 50530)	99.5 % - 99.8 %
Night time power consumption	40 mW @ 208V, 80 mW @ 240 V

MECHANICAL DATA

Ambient temperature range	-40°C to +65°C
Dimension (W x H x D) including connectors	12" x 8" x 1.8"
Weight	1.55 kg (3.4 lbs)
Enclosure rating	NEMA 6

FEATURES

Power Control	Self-Supply / Zero-Net-Export; Freq/Volt-Watt Control with 60-cell modules
Monitoring	Power line (130.2 kHz carrier); Free monitoring via gateway or online software
Compliance	UL1741, IEEE std 1547, IEEE std C62.41.2, CSA C22.2 NO. 107.1 & CISPR 22 Class B Rule14H (Advanced Inverter), HECO Rule 22 (Self-Supply), Rule 21, NEC 2014 and NEC 2017 Rapid Shutdown Compliant
Compatibility	60/72 cell PV modules with compatible input voltage range specifications above



To learn more about Chilicon Power Microinverters, visit chiliconpower.com

Apéndice BB. SMA Sunny Boy 7.7kW 240/208VAC TL Inverter w/ DC Disconnect

Technical data	Sunny Boy 6.0-US		Sunny Boy 7.0-US *		Sunny Boy 7.7-US *	
	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V
Input (DC)						
Max usable DC power	5500 W	6300 W	6900 W	7350 W	6950 W	8100 W
Max. DC Voltage	600 V					
Rated MPPT Voltage range	220 - 480 V		245 - 480 V		270 - 480 V	
MPPT operating voltage range	100 - 550 V					
Min. DC voltage / start voltage	100 V / 125 V					
Max. operating input current per MPPT	10 A					
Max. short circuit current per MPPT	18 A					
Number of MPPT tracker / string per MPPT tracker	3 / 1					
Output (AC)						
AC nominal power	5200 W	6000 W	6660 W	7000 W	6660 W	7680 W
Max. AC apparent power	5200 VA	6000 VA	6660 VA	7000 VA	6660 VA	7680 VA
Nominal voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V
AC grid frequency	60 Hz / 50 Hz					
Max. output current	25.0 A	25.0 A	32.0 A	29.2 A	32.0 A	32.0 A
Power factor (cos φ)	1					
Output phases / line connections	1 / 2					
Harmonics	≤ 4 %					
Efficiency						
Max. efficiency	97.2 %	97.6 %	97.1 % *	97.2 % *	97.1 % *	97.2 % *
CEC efficiency	96.5 %	97 %	96.5 % *	96.5 % *	96.5 % *	96.5 % *
Protection devices						
DC disconnected device	●					
DC reverse polarity protection	●					
Ground fault monitoring / Grid monitoring	●					
AC short circuit protection	●					
All-pole sensitive residual current monitoring unit (RCMU)	●					
Arc fault circuit interrupter (AFCI)	●					
Protection class / overvoltage category	I / IV					
General data						
Dimensions [W / H / D] in mm [in]	535 x 730 x 198 [21.1 x 28.5 x 7.8]					
Packaging Dimensions [W / H / D] in mm [in]	600 x 800 x 300 [23.6 x 31.5 x 11.8]					
Weight	26 kg [57 lb]					
Packaging weight	30 kg [66 lb]					
Operating temperature range	- 25°C ... +60°C					
Noise emission [typical]	26 dB(A)		30 dB(A) *			
Internal power consumption at night	≤ 5 W					
Topology	Transformerless					
Cooling concept	Convection			Fan		
Features						
Secure Power Supply	●					
Display (2 x 16 characters)	●					
Interface: Ethernet / WLAN	● / ●					
Sensor module / External WLAN antenna	○ / ○					
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○					
Certificates and approvals	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA Y22.2 107.1-1					
● Standard features ○ Optional features – Not available	Data at nominal conditions NOTE: US inverters ship with gray lids. * Preliminary data, UL pending					
Type designation	SB6.0-15PU5-40		SB7.0-15PU5-40		SB7.7-15PU5-40	

SAME NAME, NEW GAME

The Sunny Boy 3.0-US through 7.7-US are once again raising the bar by offering improved performance, enhanced features, and most importantly, an economical approach to residential solar. Your business model is a value chain. The new Sunny Boy-US series can help you stay competitive in an increasingly price sensitive residential market by driving down costs across all of your business operations.



Apéndice CC. Cotización del Inversor de 7.7 kW para el caso 3

Componentes	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
<i>SMA Sunny Boy 7.7kW 240/208VAC TL Inverter w/ DC Disconnect</i>	1	\$ 2 200.00	\$ 2 200.00
Costo Total del Proyecto			\$ 2 200.00

