

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL
DE LAS AMÉRICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**“Diseño eléctrico con sistema de generación foto-voltaico para el
complejo turístico "Los Cartagos" ubicado en la zona del Pacífico
Sur”**

Para optar al grado de Bachillerato en Ingeniería Electromecánica

AUTOR:

José David Calderón Umaña

TUTOR:

Lic. Adolfo Arias Echandi

Sede Aranjuez

Noviembre de 2019

DEDICATORIA

Dedicado a las futuras generaciones de profesionales, que en sus manos descansa la responsabilidad del desarrollo de ingeniería por y para la preservación del planeta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Francisco y Mary, que a lo largo de la vida han apoyado cada uno de los proyectos personales y profesionales, y siempre me incentivaron a los estudios y que con paciencia y esfuerzo juntos logramos esta meta.

A mi novia Alejandra, que en los momentos de ausencia siempre estuvo apoyando con gran paciencia y además por su apoyo profesional en este proyecto.

A mis profesores, que a lo largo de la carrera, compartieron sus valiosos conocimientos, herramientas fundamentales para la vida.

A mis compañeros, quienes no sólo compartimos conocimientos si no también experiencias diversas, deseando que nunca se apague el deseo de aprender y de superarse.

A mis compañeros de trabajo y jefaturas, que fueron de gran aporte con su criterio profesional y tiempo para el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	1
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL TUTOR	2
CARTA DE REVISIÓN DEL FILÓLOGO	3
DECLARACIÓN JURADA	4
CEDULA DE INDENTIDAD	5
SOLICITUD DE DEFENSA	6
CONTENIDO	7
Figuras	10
Gráficas	10
Tablas	11
RESUMEN EJECUTIVO.....	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	14
Planteamiento del Problema.....	15
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Justificación.....	16
Antecedentes	17
1. Micro-Red con energías renovables para base crestones.	17
2. Diseño para la instalación de una electrolinera de carga rápida para vehículos eléctricos con alimentación solar.	19

3. Estudio y dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el alumbrado de las vías y el cerco perimétrico del campus universitario de la universidad nacional del santa. 20

Proyecciones	23
Limitaciones	23
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	24
Diseño eléctrico.....	24
Estudio de demanda de cargas.....	33
Electrolineras.....	35
Iluminación	35
Criterios para el diseño de la iluminación	35
Energías renovables	40
Energía solar	40
.....	50
VAN y TIR Principios de Finanzas corporativas.....	54
Cálculo de la TIR.....	54
Cálculo del VAN	56
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	57
Enfoque de la investigación	57
Método de investigación	57
Fuentes de información	58
Procesos para la recolección y análisis de datos	58
Etapa I: Planteamiento del problema y dimensionamiento del anteproyecto.....	58
Etapa II: Investigación.....	58
Etapa III: Desarrollo	59

Etapa IV: Conclusiones	59
Variables o Categorías de análisis.....	59
Instrumentos	59
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
Diagnóstico	61
Diseño eléctrico	62
Sistema solar fotovoltaico conectado a la red	83
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
Conclusiones	102
Recomendaciones.....	103
CAPÍTULO VI. PROPUESTA.....	105
REFERENCIAS.....	106
APÉNDICE.....	108

Figuras

Figura 1. Variables para cálculo de potencia	21
Figura 2. Costo de la energía actual vs costo de la energía híbrida	22
Figura 3. Temperatura del color	39
Figura 4 Energía del sol que llega a la tierra	40
Figura 5 Ángulo Azimut	48
Figura 6 Ejemplo flujos de efectivo.....	55
Figura 7 Diagrama de flujo marco metodológico	60
Figura 8 Coordenadas ubicación del proyecto.....	61
Figura 9 Imagen satelital del proyecto.....	62
Figura 10 Simulación de iluminación Villa 1	70
Figura 11 Diagrama isolíneas de iluminación Villa 1	70
Figura 12 Altura de análisis fotométrico	71
Figura 13 Gráfico numérico de luxes h: 0.80m S.N.P.T	72
Figura 14 Diagrama unifilar	93

Gráficas

Gráfica 1 Consumo energético horario	86
Gráfica 2 Proyección de consumo diario por edificio	87
Gráfica 3 promedio de radiación solar.....	88
Gráfica 4 Comparativo de cargas.....	96
Gráfica 5 Inversión y ahorro acumulado	98
Gráfica 6 Recuperación de inversión (escenario 3)	100

Tablas

Tabla 1. Resumen de los requisitos para circuitos ramales	27
Tabla 2. Carga máxima conectada a un receptáculo con cordón y clavija	28
Tabla 3. factores de demanda para cargas de receptáculos en unidades diferentes de vivienda	30
Tabla 4 Porcentaje de la sección transversal para el llenado de canalizaciones	33
Tabla 5. Iluminancia de los entornos inmediatos	37
Tabla 6. Temperatura del color en iluminación	38
Tabla 7 Edificios y características correspondientes	63
Tabla 8 Circuito Ramal.....	65
Tabla 9 Cálculo de canalización conductor #12	66
Tabla 10 Cálculo de canalización conductor #10	67
Tabla 11 Cálculo canalización conductor #8	68
Tabla 12 Selección de protección contra sobre corriente	68
Tabla 13 Cálculo de circuito ramal iluminación.....	72
Tabla 14 Resumen de circuitos ramales tablero área común.....	73
Tabla 15 balanceo de cargas	74
Tabla 16 Cargas balanceadas de cada tablero.....	74
Tabla 17 Edificios Zona Común.....	75
Tabla 18 Resumen de carga instalada y demandada.....	78
Tabla 19 Cálculo de caída de tensión sub tableros	79
Tabla 20 Resumen de conductores acometidas sub tableros	80
Tabla 21 Resumen de protecciones contra sobre corriente para sub tableros	81
Tabla 22 Resumen de canalización sub tableros	81

Tabla 23 Resumen de canalización tableros principales	81
Tabla 24 Canalización acometida tableros principales	82
Tabla 25 Cálculo proyección de consumo	84
Tabla 26 Distribución de carga horaria.....	84
Tabla 27 proyección de consumo por hora para el complejo	85
Tabla 28 Resumen de kWh/día estimado por edificio	86
Tabla 29 promedio de radiación solar.....	88
Tabla 30 proyección de facturación anual para el complejo	95
Tabla 31 Proyección de facturación anual con sistema de generación fotovoltaico	95
Tabla 32 Presupuesto de construcción proyecto eléctrico	96
Tabla 33 Inversión inicial estimada para la instalación de paneles solares	97
Tabla 34 Resultados de análisis VAN y TIR	98
Tabla 35 Inversión inicial sistema con micro inversores.....	99
Tabla 36 VAN y TIR Micro inversores	100
Tabla 37 VAN y TIR para sistema con inversores centrales y con calentadores solares ...	100

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto se emplearán los cálculos necesarios y correspondientes para el diseño de la infraestructura eléctrica del complejo turístico a construir en la zona sur llamado “Los Cartagos” y que además, dentro de su alcance se contempla la postulación de un escenario para la generación de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Se fundamenta en la realización de una memoria de cálculo basada en la norma NFPA 70 Código Eléctrico Nacional, asegurando la seguridad de los edificios y sus futuros ocupantes. Además, se realizan estudios fotométricos basados en la norma INTE/ISO 8995-1:2016, para el aseguramiento de una correcta distribución de iluminación adecuada para cada uno de los espacios abarcados.

Mediante el análisis de datos proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional, es posible realizar una proyección económica y diseño adecuado para el autoconsumo y generación de electricidad mediante un sistema fotovoltaico conectado a la red, que dicho estudio será fundamentado por información relevante de facturación brindada por el Instituto Costarricense de Electricidad e información técnica suministrada por distintos proveedores y especialistas en generación fotovoltaica.

Un análisis de producción y consumo de energía horario, permitirá obtener conclusiones más detalladas basadas en las condiciones solares de la zona, y buscando analizar el escenario menos favorable para asegurar el éxito del diseño en su totalidad.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El complejo turístico “Los Cartagos” tiene un área total de 14 000 m², ubicado en ventanas, distrito Bahía Ballena, cantón Osa Puntarenas. El proyecto funcionará tanto a modo residencial como de explotación comercial, donde se propondrá un diseño eléctrico para el adecuado funcionamiento del sitio turístico, asegurando la salvaguarda y la confortabilidad de los usuarios. Se complementa el proyecto con la propuesta de un sistema de generación fotovoltaica conectada a la red.

La definición de las necesidades eléctricas fueron definidas por los usuarios finales del complejo como administradores, proyectando la construcción a futuro en distintas etapas, por lo que la implementación será conforme se desarrolle la actividad económica, donde se destaca la importancia de considerar un diseño que contemple la mayor cantidad de modificaciones y proyecciones de cambio y crecimiento en el complejo turístico.

Una propuesta para un sistema eléctrico conectado a la red del proveedor local de energía eléctrica será incluida en este estudio, determinando la viabilidad del sistema fotovoltaico a implementar en caso de realizar el proyecto. De forma cuantitativa se efectuará un análisis de costos que acompañe en forma definitiva, las propuestas técnicas e ingenieriles propuestas en la investigación.

El proyecto tomará en cuenta el diseño de áreas comunes y recreativas, espacios residenciales, así como alojamientos turísticos de distintas formas donde la seguridad deberá ser un pilar fundamental, por lo que el diseño será basado en el Código Eléctrico Nacional 2014 vigente actualmente en el país, garantizando de esta manera la confiabilidad esperada, utilizando una memoria de cálculo como respaldo de dicha garantía.

Planteamiento del Problema

¿Cuál es el diseño eléctrico con sistema de generación fotovoltaico para el complejo turístico "Los Cartagos" ubicado en la zona del Pacífico Sur?

Objetivos

Objetivo General

Efectuar el diseño eléctrico con un sistema de generación fotovoltaico para el complejo turístico "Los Cartagos" ubicado en la zona del pacífico sur.

Objetivos Específicos

- Realizar el cálculo total de carga instalada y demandada para el complejo turístico, incluyendo el cálculo de la acometida principal y sub-tableros con base en la norma NFPA 70, Código Eléctrico Nacional Edición 2014.
- Elaborar la distribución de iluminación necesaria para la comodidad de los usuarios del complejo, basado en la norma INTE/ISO 8995-1:2016.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico requerido e inversores, mediante el estudio horario de generación y consumo de energía.
- Desarrollar el análisis financiero para determinar la viabilidad económica del sistema fotovoltaico mediante las herramientas de VAN y TIR.

Justificación

Es responsabilidad y un reto para los próximos ingenieros desarrollar proyectos donde el impacto ambiental se vea disminuido considerablemente, logrando sacar provecho de los mejores adelantos tecnológicos para generar comodidad en el estilo de vida de las personas y disminuir los daños que se producen al medio ambiente, creando tendencias de construcción donde se busque cada vez más un impacto ambiental moderado y mejor eficiencia energética.

El proyecto se ubica en las coordenadas 9°05'39.7" N y 83°40'06.1" W pertenecientes a una zona que se caracteriza por ser un centro recurrente de turismo local e internacional, siendo sede de múltiples atracciones tanto naturales como sociales que incrementan su popularidad en la zona y atraen visitantes extranjeros de una forma más común, factores importantes en el aumento de la inversión y desarrollo de dicha zona, logrando un avance en materia económica y en conservación de la biodiversidad como carta de presentación de nuestro país en materia ambiental.

Una ventaja de crear un diseño eficiente para un proyecto de esta naturaleza es que permitirá tener una mayor rentabilidad económica y con fuentes alternas de generación de energía. Así como también crear alternativas de bajo impacto que permitan al usuario tener una experiencia vacacional con las condiciones y comodidades adecuadas. Un diseño completo con una proyección de crecimiento importante donde se incluye la mayoría de los sistemas relevantes a aplicar como alimentación de piscina, iluminación externa, telecomunicaciones y una propuesta de iluminación eficiente, y con propuestas innovadoras como electrolineras para el futuro crecimiento de la tendencia de movilidad eléctrica.

Por estas razones se plantea desarrollar el presente proyecto de diseño del centro turístico "Los Cartagos".

Antecedentes

A continuación, se señalan varias investigaciones realizadas en el área de estudio, se mencionan los antecedentes encontrados.

1. Micro-Red con energías renovables para base crestones.

Autor: Angie Torres Salas

Institución: Universidad Internacional de las Américas

Año: 2019

La prioridad de la investigación es el análisis de sistemas fotovoltaicos y eólicos para aplicar al diseño a la alimentación de una micro-red en los albergues en Base Crestones ubicado en el Cerro Chirripó. Siendo una importante fuente de información por las similitudes en el procedimiento de cálculo y metodología de investigación aplicado al presente proyecto de investigación, existen algunas diferencias significativas como la forma de asegurar el suministro constante de la energía cuando no estén funcionando los paneles solares, cuando se obtenga bajos niveles de radiación o cuando simplemente no exista luz solar por los horarios nocturnos. La ingeniería planteada por el autor es el diseño de una micro-red aislada buscando satisfacer el 100% de la demanda del complejo, por lo que las opciones de conexión a la red es la principal diferencia en el enfoque en la presente investigación donde el objetivo es lograr la interconexión con la red del proveedor local y lograr comprender la mejor forma de adaptarse a los distintos factores que afectan el diseño de un proyecto eléctrico de esta naturaleza. De igual manera se exploró la energía eólica, lo que inicialmente fue una alternativa para ser evaluada en las propuestas de la presente investigación; un estudio previo es importante para descartar de primera entrada la posibilidad de utilizar energía eólica. Como Torres (2019) menciona en su análisis final de resultados, “para el caso de la solución mixta se logró determinar un total de 325 paneles, el cual, junto a la instalación de 46 aerogeneradores, da un aproximado de energía generada de KWh al año, dado que este proyecto se da como planteamiento de solución para una problemática presente en los albergues del Parque Nacional no se realizan comparaciones de consumo energético, dando como inversión que el sistema mixto tendrá un costo de \$447.233.197,18, con estos resultados se comprueba que no es viable la implementación de aerogeneradores si se

compara con el costo de inversión del sistema fotovoltaico únicamente, dado que el costo de este es de ₡246.237.887,39” (p. 53).

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es el principal objetivo de la postulación del antecedente, siendo el sistema más viable según los resultados anteriormente planteados. Se obtiene como referencia la metodología de investigación para el dimensionamiento de la infraestructura fotovoltaica del proyecto. Como fuente principal de información se utilizaron los datos del Instituto Meteorológico Nacional buscando la exactitud en los datos. Inicialmente se buscó encontrar el 100% de la demanda de la micro-red tanto lo existente como los nuevos requerimientos, importante destacar que el consumo se obtiene un promedio por cada hora del día y por lo tanto los datos de potencia se darán en Wh. La información obtenida es la siguiente destacada por Torres “El promedio diario de consumo es 135616.83 Wh/día y las horas con mayor cantidad de energía consumida van en periodos de las 5 a 7 de la mañana y luego desde las 4 hasta las 6 de la tarde” (p.56). Aquí es donde la principal diferencia es importante ya que la generación de los paneles solares es utilizada para la carga de los bancos de baterías que al ser una red aislada suplirán el 100% del complejo, mientras que en la presente investigación se busca abastecer el horario solar pico mediante la infraestructura fotovoltaica y las horas faltantes de sol se descargarán de la red.

El consumo total del complejo se describe por Torres (2019) de la siguiente manera “con los nuevos requerimientos y las ampliaciones se procede a hacer el cálculo con los consumos teniendo de resultado un consumo total de 549,056 kWh/día” (p.58).

Utilizó la siguiente ecuación para determinar la hora solar pico:

Ecuación 1. Hora Solar Pico (antecedente)

$$1HSP = \frac{1000W * 1h}{m^2} * \frac{3600s}{1h} * \frac{\frac{1J}{s}}{1W} = 3,6MJ/m^2$$

Fuente: Torres Salas, 2019.

Y determinó la cantidad de paneles solares con la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Número de paneles solares (antecedente)

$$NP = \frac{\left(\frac{E}{RSN}\right) * 1000}{Wp}$$

Fuente: Torres Salas, 2019.

Donde:

Np: Es el número de paneles solares necesarios

E: Es el consumo energético real anual (kWh/año)

Wp: Es la potencia pico del panel (Wp)

RSN: Es la radiación solar neta (kWh/m²/año)

El resultado destacado por Torres (2019) al despejar la fórmula planteada es el siguiente:

$$NP = \frac{\left(\frac{197660.16 \text{ kWh/año}}{1841 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2/\text{año}}}\right) * 1000}{330 \text{ W}}$$

$$NP = 325 \text{ paneles}$$

La potencia instalada en módulos fotovoltaicos alcanza un valor de 107.25 kW (p.66).

2. Diseño para la instalación de una electrolinera de carga rápida para vehículos eléctricos con alimentación solar.

Autor: Alejandro Rojas González

Institución: Universidad Internacional de las Américas.

Año: 2019

Se fundamenta su investigación en cómo dar al usuario una experiencia de carga de vehículos eléctricos similar a una gasolinera. Antecedente importante para la implementación de electrolineras en el presente diseño eléctrico. El principal objetivo de referencia con esta investigación es encontrar cual es el tipo de cargador para automóvil eléctrico más adecuado tomando en cuenta los distintos factores que describe Rojas (2019) “es importante evaluar para efectos de este proyecto la relación costo- beneficio de utilizar este tipo de cargador, ya que la

diferencia en costo con respecto a uno de modo 2 ó 3 que es lo que predomina hasta el momento en el país, es bastante. Se debe evaluar si para la empresa es rentable utilizar infraestructura de este tipo para ser comercializado bajo una tarifa como la que hoy se cobra por un servicio normal de electricidad o si debiera establecerse una más alta que incorpore una recuperación sobre la inversión más una ganancia, tal y como se ha realizado en otros países donde ya cuentan con electrolinerías de este tipo (p. 60). Refiriéndose a la selección del cargador de alta velocidad el “modo 4”.

Es importante destacar que para efectos del diseño del complejo turístico, se busca brindar un enfoque diferente para el usuario, ya que una carga extremadamente rápida no es tan importante ya que es un lugar de descanso y estadía por lo que se proyectan periodos de cargas de no más de 8 horas, por lo que idóneamente se considerará utilizar cargador tipo 3, donde se cumplirá el objetivo de brindar opciones para todos los tipos de vehículos presentes en la flota vehicular y con una tendencia de crecimiento mostrada en el país como lo menciona Rojas (2019) “la flotilla vehicular eléctrica está creciendo, aún más después de que se aprobará la ley 9518 en el 2017 la cual incentiva a los usuarios a adquirir vehículos de este índole” (p. 65).

3. Estudio y dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el alumbrado de las vías y el cerco perimétrico del campus universitario de la universidad nacional del santa.

Autores: Juan Carlos Chávez Soto, Juan Pablo Medina Sánchez

Institución: Universidad Nacional del Santa, Chimbote – Perú

Año: 2014

Por último, en el año 2014 se elaboró el proyecto académico titulado “Estudio y dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el alumbrado de las vías y el cerco perimétrico del campus universitario de la Universidad Nacional del santa”, preparado por los estudiantes Juan Carlos Chávez Soto y Juan Pablo Medina Sánchez.

Como describen en su resumen ejecutivo “se plantea en este caso un sistema híbrido de generación netamente renovable. Se planteó un sistema híbrido eólico solar que abasteciera de energía eléctrica principalmente a la iluminación de las vías y el perímetro del campus de la

Universidad Nacional del Santa, el cual suplantar  la energía que contrata la universidad” (Chávez Soto & Medina Sánchez, 2014, p. 5).

“Se utilizaron métodos estadísticos y matemáticos para poder cuantificar los potenciales eólico y solar del lugar, lo cual ayudará al dimensionado de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, indispensables en este tipo de sistemas. El levantamiento de los datos para realizar los c culos se efectuó mediante pruebas de campo realizadas en el campus de la universidad. Se cuantificó el potencial eólico en el campus de la Universidad Nacional del Santa, de acuerdo con esto se pudo dimensionar un sistema de generación híbrida renovable, que consta de un sistema solar fotovoltaico y un sistema eólico de energía, de acuerdo a esto se afirmó que el 17% correspondiente a la energía requerida por la iluminación de las vías y el cerco perimétrico, serán suplidas por el sistema” (Chávez Soto & Medina Sánchez, 2014, p. 5).

En general los resultados de demanda y consumo de energía fueron los siguientes:

Figura 1. Variables para c culo de potencia

<i>SUB 1</i>	<i>Energía Necesaria En (kWh/año)</i>	<i>Energía Generada (kWh/año)</i>	<i>Potencia Necesaria (kW)</i>	<i>Potencia Generada (kW)</i>
<i>EOLICO</i>	73 714.67	77 460.30	16.83	17.685
<i>FOTOVOLTAICO</i>	8 190.52	8 444.80	1.87	1.928
<i>TOTAL</i>	81 905.19	85 905.10	18.699	19.613

<i>SUB 2</i>	<i>Energía Necesaria En (kWh/año)</i>	<i>Energía Generada (kWh/año)</i>	<i>Potencia Necesaria (kW)</i>	<i>Potencia Generada (kW)</i>
<i>EOLICO</i>	49 653.80	51 640.20	11.336	11.79
<i>FOTOVOLTAICO</i>	5 517.08	5 911.36	1.26	1.35
<i>TOTAL</i>	55 170.88	57 551.56	12.596	13.14

Fuente: Chávez Soto & Medina Sánchez, 2014.

Finalmente, se determinó que instalar un sistema de generación híbrido eólico solar, es económicamente viable, por lo cual es una investigación bastante útil, ya que algunos antecedentes evaluados muestran resultados negativos de implementación.

Determinaron que el costo de la Energía actual es mayor que el costo de la Energía híbrida, mediante análisis financiero del VAN.

Figura 2. Costo de la energía actual vs costo de la energía híbrida

COSTO DE LA ENERGIA ACTUAL (US\$/kWh)	COSTO DE LA ENERGIA HIBRIDA (US\$/kWh)
0.164	0.130

Fuente: Chávez Soto & Medina Sánchez, 2014.

A modo de conclusión para este antecedente se determina que el costo de energía producida será menor que la energía del proveedor por lo tanto el proyecto va a generar un ahorro monetario importante para el campus universitario.

Proyecciones

Para el cumplimiento de los objetivos se propone el dimensionamiento de cargas e infraestructura eléctrica para el complejo turístico, y además, definir la distribución de la iluminación basado tanto en los requerimientos del cliente como en las simulaciones realizadas en el software de fotometría para verificar el cumplimiento de la normativa aplicada.

Tomando el escenario diario de mayor consumo, y el mes de menor irradiación solar es posible realizar un estudio económico, proyectando los consumos anuales en moneda nacional y estimar el mínimo ahorro del proyecto de generación de energía fotovoltaica.

Al final de la investigación, el resultado será un diseño eléctrico y diagrama unifilar para todo el complejo turístico de 14 000m², con planos físicos y en los diferentes formatos digitales, además de una memoria de cálculo de dicho diseño. Se incluirán modelos de simulación del complejo con iluminación y las gráficas del estudio fotométrico. Como parte de los entregables del proyecto se agrega una cotización con la infraestructura realizada por un contratista eléctrico.

Limitaciones

Se encuentra como una limitación la distancia y el difícil acceso del terreno propuesto para el desarrollo de la investigación. Una limitación importante es que en la zona no se cuenta con alimentación trifásica por parte del proveedor local, por lo que el dimensionamiento deberá mantenerse en los límites de una acometida e infraestructura monofásica.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se da a conocer los conceptos y teorías propuestas por autores más relevantes, realizando una descripción detallada de cada uno de los elementos esenciales de la teoría por emplear para el desarrollo del presente proyecto. Por lo tanto, para la adecuada comprensión de la investigación se expone a continuación aspectos claves que facilitan el entendimiento del desarrollo del tema a tratar.

Diseño eléctrico

El diseño de sistemas eléctricos no busca cubrir un campo en específico, sino busca la satisfacción y la comodidad de los usuarios, asegurando la integridad física y la seguridad humana, así como los bienes donde se espera además tenga una retribución económica por lo que es importante la eficiencia como unos de los pilares fundamentales del diseño eléctrico.

Lo describe de una mejor manera (Rojas Castro, Alpízar Herrera, Mora Monge, & Robinson Taylor, 2015) donde describen “el diseño de instalaciones eléctricas de edificios comerciales, industriales e institucionales ha ido evolucionando en función de al menos las siguientes variables:

1. Las necesidades de los propietarios, promotores y usuarios finales, definiendo cada día nuevos requerimientos que demandan un uso intensivo de la electricidad, con equipos y materiales que requieren de instalaciones eléctricas cada vez más especializadas.
2. Normas de seguridad de acatamiento obligatorio, no sólo las establecidas en el Código Eléctrico de Costa Rica, sino también las indicadas en otros códigos y reglamentos.
3. Estándares considerados como buenas prácticas para el diseño de instalaciones eléctricas, como los desarrollados por IEEE.
4. Estándares de fabricación de productos y materiales, como los desarrollados por ANSI.
5. Estándares de certificación de productos y materiales, como los desarrollados por UL u otros entes certificadores.
6. Herramientas de diseño eléctrico basados en el uso de software especializado, para solución e integración de los diferentes estudios de ingeniería requeridos.

Por lo tanto, los profesionales que deseen diseñar instalaciones eléctricas de edificios comerciales, industriales e institucionales deben contar con la capacidad necesaria para integrar todas las variables indicadas anteriormente, y aplicarlas a cada proyecto en particular, diseñando instalaciones eléctricas donde en primer lugar, la seguridad de la vida y la propiedad sea el objetivo principal, sin olvidar aspectos de economía y de eficiencia de las instalaciones eléctricas. Todas las variables indicadas anteriormente deben analizarse desde las etapas de anteproyecto y diseño, proyectándolas al futuro durante el tiempo de vida útil de las instalaciones, para obtener la reducción de costos durante la etapa constructiva del proyecto, y reducir las pérdidas de energía por una mala planificación y conceptualización de las instalaciones, todo lo anterior en beneficio de la sociedad y economía del país” (p. 5).

En la etapa del anteproyecto es importante definir el marco normativo que limitará el proyecto, donde se referenciará todos los cálculos y justificación de la metodología basada en las siguientes normas:

- a) Código Eléctrico Nacional NFPA 70 Edición 2014
- b) Iluminación de los lugares de trabajo. Interiores INTE/ISO 8995-1:2016

Código Eléctrico Nacional NFPA 70 (2014)

El propósito de este Código es la salvaguarda práctica de las personas y de los bienes, de los riesgos que se derivan de una inadecuada instalación eléctrica o del uso de materiales y equipos para el uso de la electricidad (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2012, Artículo 90.1 (A)).

Alcance.

Cobertura. Este Código cubre la instalación de conductores, equipos y canalizaciones eléctricas; conductores, equipos y canalizaciones de comunicación y señalización, y cables y canalizaciones de fibra óptica para los siguientes usos:

- Establecimientos públicos y privados, que incluyan edificios, estructuras, casas móviles, vehículos de recreo y edificios flotantes.
- Patios, terrenos, lotes de estacionamiento, ferias ambulantes y subestaciones industriales.

- Instalaciones de conductores y equipos que se conectan a la fuente de alimentación de electricidad.
- Instalaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica, como edificios de oficinas, depósitos, garajes, talleres, parques de atracciones y edificios recreativos que no forman parte integral de una planta generadora, una subestación o un centro de control (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2012, Artículo 90.2 (B)).

Exigencia de cumplimiento.

Este código es de acatamiento obligatorio para todos los profesionales responsables con competencia para diseñar, instalar, renovar, modificar, adicionar, supervisar, aprobar, verificar y revisar los sistemas eléctricos de acuerdo a las infraestructuras señaladas en 90.2(B) de este Código y el Reglamento para el Trámite de Planos y la Conexión de los Servicios Eléctricos, Telecomunicaciones y de otros en Edificios del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, publicado el Diario Oficial La Gaceta N° 217 del 5 de noviembre del 2004 (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2012, Artículo 90.5).

Diseño de un sistema eléctrico

Es importante establecer los alcances del proyecto a diseñar como lo definen (Rojas Castro, Alpízar Herrera, Mora Monge, & Robinson Taylor, 2015) en su documento con los procedimientos para el planeamiento y diseño de instalaciones eléctricas; “definir qué sistemas deben ser incluidos en el diseño de las instalaciones del proyecto, incluyendo los sistemas eléctricos, de telecomunicaciones, seguridad, circuito cerrado de televisión, detección de incendios, sonido, y cualquier otro sistema requerido en el proyecto” (p. 10). Cabe destacar que el alcance de este proyecto es dimensionamiento de potencia. Además de lo anterior es importante definir cuál es el tipo de instalación donde el sistema eléctrico va a funcionar, sea industrial, comercial, residencial o institucional. Esto definirá la vía a tomar para el adecuado funcionamiento con los requerimientos básicos según el tipo de edificación, donde ciertos aspectos del funcionamiento serán claves para el éxito del diseño tomando en cuenta los factores a tomar en cuenta anteriormente descritos.

Circuitos ramales

“Conductores de circuito entre el dispositivo final contra sobre corrientes que protege el circuito y la(s) salida(s)”. Según artículo 100 definiciones (National Fire Protection Association, 2014, p. 30). Podemos dividirlos en los siguientes circuitos ramales según su metodología de diseño.

Separación entre tomacorrientes

Según artículo 210.52 (1) (National Fire Protection Association, 2014) “Los tomacorrientes se deben instalar de modo que ningún punto, medido horizontalmente, a lo largo de línea de piso en cualquier espacio de la pared esté a más de 1.8m de una salida de tomacorriente” (p.62).

Según artículo 220.14 (I) (National Fire Protection Association, 2014) “las salidas de receptáculos se deben calcular a un mínimo de 180 volt-amperes para cada receptáculo sencillo o para cada receptáculo múltiple en un solo yugo” (p.70).

Se deberán seguir requisitos mínimos para el cálculo de circuitos ramales establecidos en la tabla 210.24. Según el código eléctrico nacional.

Tabla 1. Resumen de los requisitos para circuitos ramales

Tabla 210.24 Resumen de los requisitos para circuitos ramales

Valor nominal del circuito	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Conductores (Calibre mínimo):					
Alambres del circuito ¹	14	12	10	8	6
Derivaciones	14	14	14	12	12
Alambres y cordones de artefactos – véase la sección 240.5					
Protección contra sobrecorriente	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Dispositivos de salida:					
Portalámparas permitidos	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Trabajo pesado	Trabajo pesado	Trabajo pesado
Valor nominal del receptáculo ²	15 A máx.	15 ó 20 A	30 A	40 ó 50 A	50 A
Carga máxima	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Carga permisible	Véase la sección 210.23(A)	Véase la sección 210.23(A)	Véase la sección 210.23(B)	Véase la sección 210.23(C)	Véase la sección 210.23(C)

1. Estos calibres son para conductores de cobre.

2. Para el valor nominal de los receptáculos para luminaria de descarga conectados con cordón, véase la sección 410.30 (C).

Fuente: National Fire Protection Association, 2014.

Para determinar la carga máxima conectada a un receptáculo se deberá respetar la siguiente tabla:

Tabla 2. Carga máxima conectada a un receptáculo con cordón y clavija

Tabla 210-21(B)(2). Carga máxima conectada a un receptáculo con cordón y clavija

Valor nominal del circuito (Amperes)	Valor nominal del receptáculo (Amperes)	Carga máxima (Amperes)
15 ó 20	15	12
20	20	16
30	30	24

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014)

Circuitos de uso general (Iluminación)

Las cargas lumínicas son de las más comunes en una instalación eléctrica. Las cargas por iluminación se pueden estimar utilizando la tabla 220.12, (National Fire Protection Association, 2014), en la cual se indica la cantidad de carga unitaria mínima que se debe estimar para iluminación, esto de acuerdo con el tipo de establecimiento.

Según artículo 220.12 (National Fire Protection Association, 2014) “Cargas de alumbrado para ocupaciones específicas, una carga unitaria no inferior a la que se especifica en la Tabla 220.12 para las ocupaciones específicas aquí debe constituir la carga de alumbrado mínima. El área del suelo de cada piso se debe calcular a partir de las dimensiones exteriores del edificio, unidad de vivienda u otras áreas involucradas. Para las unidades de vivienda, la superficie calculada del suelo no debe incluir los pórticos abiertos, los garajes ni los espacios no utilizados o sin terminar que no sean adaptables para su uso futuro” (National Fire Protection Association, 2014, p. 69). Tabla 220.12 del NEC corresponde al apéndice 3.

Para unidades de vivienda podrá aplicarse a su vez para la carga de tomacorrientes.

Electrodomésticos o cargas específicas

“Una salida para un electrodoméstico específico se debe calcular con base en la corriente nominal del electrodoméstico o carga alimentada. En el caso de electrodomésticos que sea improbable que se usen simultáneamente, cada 1.5 m (5 pies) o fracción de cada longitud separada y continua se debe considerar como una salida de mínimo 180 volt-amperes” (National Fire Protection Association, 2014, pp. 69-70).

Referencia los artículos, 210.11 (c) (1), del NEC (National Fire Protection Association, 2014), los cuales indican que se deben de utilizar 2 circuitos de 1500VA, con protección de 20 amperios cada uno. Además según el artículo 220.53 se permitirá aplicar un factor de demanda del 75% a la carga nominal de la placa de características de cuatro o más electrodomésticos fijos en su lugar que no sean estufas eléctricas, secadoras de ropa, equipos de calefacción de ambiente o de aire acondicionado, servidos por el mismo alimentador o acometida en viviendas unifamiliares, bi-familiares o multifamiliares (p. 71).

Circuitos de lavandería

Se le llama circuito de lavandería, a aquel circuito destinado por abastecer el cuarto de pilas, incluye lavadora y cualquier otro tomacorriente que se encuentre en el cuarto de pilas. De acuerdo con artículo 210.11 (c) (2) del NEC (National Fire Protection Association, 2014) “al menos un circuito de 20 amperios”, además según la sección 220.52 (B) “será una carga de no menos de 1500VA”, debe ser instalado para abastecer esta área “Se permitirá que esta carga se incluya con la carga de alumbrado general y se le apliquen los factores de demanda establecidos en la tabla 220.42 (p.71). Ubicada en el apéndice 4.

Secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda

“La carga para secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda debe ser de 5000 watts (volt-amperes) o la capacidad nominal de la placa de características, la que sea mayor, para cada secadora conectada. Se permitirá la aplicación de los factores de demanda de la Tabla 220.54” Apéndice 5 (National Fire Protection Association, 2014, p. 72).

Cocción

“Se permitirá que la carga demandada por estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas en mesones y otros electrodomésticos de cocción con capacidad nominal individual

superior a 1 $\frac{3}{4}$ kW, se calcule de acuerdo con la Tabla 220.55. Los kilovolt-amperes (kVA) se deben considerar equivalentes a los kilowatts (kW) para las cargas calculadas según esta sección”. (National Fire Protection Association, 2014, p. 72) Tabla 220.55 referencia en apéndice 2.

Cargas Continuas y no continuas

Cuando un circuito ramal alimenta cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el valor nominal del dispositivo de sobre corriente no debe ser menor a la carga no continua más el 125 % de la carga continua (National Fire Protection Association, 2014, pp. 59, 70). Se considera carga continua cargas que permanezcan en funcionamiento 3 horas o más. Cargas no continuas se podrán calcular al 100% de la carga nominal según sea el tipo de diseño o edificación que se esté aplicando.

Cargas de receptáculos en unidades diferentes de las de vivienda

Según NEC (National Fire Protection Association, 2014, p. 71) “se permitirá que las cargas de receptáculos calculadas de acuerdo con las secciones 220.14 (H) e (I) se calculan sujetas a los factores de demanda de la tabla 220.42 o la 220.44.” Tabla 220.42 ubicada en apéndice 4.

Tabla 3. factores de demanda para cargas de receptáculos en unidades diferentes de vivienda

Tabla 220.44 Factores de demanda para cargas de receptáculos en unidades diferentes de las de vivienda

Parte de la carga del receptáculo a la que se aplica el factor de demanda (volt-amperes)	Factor de demanda %
Primeros 10 kVA o menos	100
A partir de 10 kVA	50

Fuente: National Fire Protection Association, 2014

Caída de Tensión.

De acuerdo con el artículo 215.2 (A) (3) NLM No 2, NEC (National Fire Protection Association, 2014). Los conductores de los alimentadores tal como están definidos en el artículo 100, con un calibre que evite una caída de tensión superior al 3% en la salida más lejana para cargas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída

máxima de tensión de los circuitos alimentadores y ramales hasta la salida más lejana no supere el 5%, ofrecerán una eficiencia de funcionamiento razonable (p.66).

La fórmula de la caída de tensión es la siguiente:

Ecuación 3 Caída de tensión

$$C.T. = \frac{2 \times R \times L \times I}{1000}$$

Donde,

C.T. = Caída de tensión en voltios.

R = Resistividad del conductor.

L = Longitud del conductor en pies.

I = Corriente en amperios.

Resistividad del conductor

Se define mediante la Tabla 8, propiedades de los conductores, (National Fire Protection Association, 2014) donde se podrá hacer referencia en los apéndices de esta investigación, específicamente en el apéndice 1.

Determinación del Calibre de un Conductor.

Determinar el adecuado calibre del cable dependerá de los factores importantes, la temperatura del cable y la caída de tensión, ambos cálculos deberán tomarse en cuenta para el adecuado diseño,

Para la selección de conductores, se utilizará la tabla 310.16 NEC (National Fire Protection Association, 2014, p. 172) conductores a 75°C. Apéndice 5.

Determinación del Calibre de la Tierra de Protección en circuitos ramales

De acuerdo con la sección 250.122 NEC (National Fire Protection Association, 2014) “el calibre del conductor que realiza el trabajo de tierra no debe ser inferior al señalado en la tabla

250.122, pero en ningún caso se exigirá que sean mayores a los conductores de los circuitos que alimenten al equipo” (pp.132-133). Tabla 250.122 apéndice 6.

Determinación del calibre de la tierra en acometidas

De acuerdo con la sección 250.66 NEC (National Fire Protection Association, 2014) según sea aluminio o cobre se deberá seleccionar en la tabla 250.66 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna (p.125). Tabla 250.66 Apéndice 7.

Determinación del Calibre del Neutro.

De acuerdo con el apartado 220.61 del (National Fire Protection Association, 2014) el calibre del neutro debe ser del máximo desequilibrio de la carga. La carga máxima no equilibrada debe ser la carga neta máxima calculada entre el conductor neutro y cualquier otro conductor no puesto a tierra (p.72). En simples palabras, a consecuencia de esto se produce una mayor demanda en una de las fases, por lo que el conductor neutro deberá estar en la capacidad de funcionar como un sumidero para el corriente producto del desbalance entre cargas.

Reducciones Permitidas

Según artículo 220.61 del NEC (National Fire Protection Association, 2014) “se permitirá que una acometida o un alimentador que alimente las siguientes cargas tenga un factor de demanda adicional de 70%. Para un alimentador o acometida que alimente estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas de mesón y secadoras eléctricas, cuando la carga máxima no equilibrada se ha determinado según la Tabla 220.55 para estufas y la Tabla 220.54 para secadoras (p.72).

Valores de amperes nominales normalizados

Según el artículo 240.6 del NEC (National Fire Protection Association, 2014) describe “los valores en amperes nominales normalizados de los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes.” Se excluyen los de 25, 35, 45, 110 ya que no es posible su adquisición en el mercado nacional (p. 98).

Cálculo para el llenado de las canalizaciones

Como se resume en la Tabla 1, del capítulo nueve del NEC para más de dos conductores se deberá considerar la suma del área transversal de todos los conductores, dicha sumatoria no deberá superar el 40% del área transversal de la canalización. Para este dimensionamiento es importante hacer referencia a las tablas contenidas en los apéndices 8, 9 y 10 correspondientes a las secciones transversales de los conductores y tubería a utilizar en este diseño.

Tabla 4 Porcentaje de la sección transversal para el llenado de canalizaciones

Tabla 1. Porcentaje de la sección transversal en conduit y en tubería para los conductores.

Número de conductores	Todos los tipos de conductores
1	53
2	31
Más de 2	40

Fuente: National Fire Protection Association, 2014

Selección del motor más grande

De acuerdo a lo establecido en la sección 430.24 del NEC (National Fire Protection Association, 2014) “los conductores que alimentan varios motores o un(os) motor(es) y otra(s) carga(s) deben tener una ampacidad como mínimo del 125 por ciento de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto, más la suma de las corrientes nominales de plena carga todos los otros motores del grupo” (p. 351).

Estudio de demanda de cargas

Es uno de los cálculos más importantes en un diseño eléctrico para el cálculo total de la infraestructura eléctrica a instalar, donde el factor económico y la eficiencia del diseño serán los objetivos fundamentales (Rojas Castro, Alpízar Herrera, Mora Monge, & Robinson Taylor, 2015). Definen el procedimiento como “calcular la carga demandada y la carga de diseño para cada barra, a partir de la carga conectada, incluyendo los efectos producidos por el concepto de diversidad de cargas. Las corrientes de carga calculadas están referidas al voltaje nominal de cada barra y los resultados obtenidos sirven de base para estudios subsiguientes; suma vectorialmente

las cargas individuales a través de un sistema de potencia con el objetivo de dimensionar luego los conductores y transformadores, mediante un estudio de dimensionamiento” (pp. 49, 51).

El objetivo del estudio de dimensionamiento es dimensionar componentes tales como conductores de fase, neutros, conductores de puesta a tierra de protección, canalizaciones y transformadores con base en los resultados del estudio de demanda de cargas (Rojas Castro, Alpízar Herrera, Mora Monge, & Robinson Taylor, 2015, p. 52).

Para el estudio de dimensionamiento se utilizan las secciones del Código Eléctrico Nacional vigente a la fecha del estudio.

Carga demandada para circuito ramal de iluminación y tomas generales

Según (National Fire Protection Association, 2014) sección 240.42 “los factores de demanda especificados en la tabla 220.42 se deben aplicar a la parte de la carga total calculada del circuito ramal para iluminación general (p.70).

Carga demandada para electrodomésticos en unidades de vivienda

Se deberá aplicar la sección 220.53 para electrodomésticos que se conocen como salidas fijas, equipos que requieren herramienta para movilizarse de lugar de instalación permanente según (National Fire Protection Association, 2014) “Se permitirá aplicar un factor de demanda del 75% a la carga nominal de la placa de características de cuatro o más electrodomésticos fijos en su lugar que no sean estufas eléctricas, secadores de ropa, equipos de calefacción de ambiente o de aire acondicionado, servidos por el mismo alimentados o acometidas” (p.71).

Carga demandada para estufas eléctricas domésticas, hornos de pared y otros elementos de cocción

Según (National Fire Protection Association, 2014) en la sección 220.55 “Se permitirá que la carga demandada por estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas en mesones y otros elementos de cocción con capacidad nominal individual o superior a 1.3/4 kW, se calcule de acuerdo a la tabla 220.55 (pp.70, 72/70, 73).

Electrolineras

Las electrolineras modo 3 las describe (LUGEnergy, s.f.) explica que “Este modo de carga requiere de un dispositivo llamado WALLBOX: un punto de recarga destinado exclusivamente a recargar vehículos eléctricos. Este punto de recarga o wallbox incorpora varios sistemas de protección necesarios para la seguridad de la instalación eléctrica y del vehículo. La conexión del Vehículo Eléctrico a la red de Corriente Alterna se realiza mediante equipamiento dedicado en exclusiva a la recarga del vehículo eléctrico. Este modo 3 nos interesa especialmente para uso doméstico si tenemos un híbrido enchufable con una autonomía considerablemente alta o un coche 100%eléctrico. El modo 3 de recarga permite una recarga monofásica y, también, una recarga trifásica. Es decir, si nuestro vehículo lo permite, podemos recargarlo hasta 32A (a más de 7.2kWh y 400V) (EV Modos de recarga, modo 3: recarga semi-rápida, párr. 1-2).

Iluminación

La normativa vigente en Costa Rica para el diseño de interiores expone que:

Una buena iluminación creará un entorno visual que hará posible que las personas vean, se muevan con seguridad y realicen tareas visuales con eficiencia, precisión y seguridad, sin provocar una fatiga visual y molestias indebidas. La iluminación puede ser natural, eléctrica o una combinación de ambas (INTECO, 2016, p. 5).

Esta norma especifica los requisitos de iluminación para los lugares de trabajo en interiores y para que las personas ejecuten con eficiencia las tareas visuales, con comodidad y seguridad a través del período completo de trabajo (INTECO, 2016, p. 6).

Criterios para el diseño de la iluminación

Existen distintos criterios a considerar en el diseño de la iluminación, definiciones importantes antes de iniciar cualquier anteproyecto donde INTECO resume de la siguiente manera:

Una buena práctica de iluminación para lugares de trabajo es más que proporcionar solamente una buena visibilidad de la tarea. Es esencial que las tareas se ejecuten con facilidad y

comodidad. Por lo tanto, la iluminación debe satisfacer los aspectos cuantitativos y cualitativos demandados por el entorno. En general, la iluminación ha de garantizar:

- La comodidad visual, para que los trabajadores tengan una sensación de bienestar,
- El desempeño visual, para que los trabajadores sean capaces de realizar sus tareas visuales con rapidez y precisión, aún en circunstancias difíciles y durante largos períodos,
- La seguridad visual, para ver alrededor y detectar los peligros.

Para satisfacer estos aspectos, se necesita prestar atención a todos los parámetros que contribuyen al entorno luminoso. Los parámetros principales son:

- La distribución de la luminancia,
- La iluminancia,
- El deslumbramiento,
- La direccionalidad de la luz,
- El aspecto del color de la luz y las superficies,
- El parpadeo,
- La luz natural,
- El mantenimiento.

(INTECO, 2016, p. 8).

INTECO define de los enunciados anteriores las definiciones más relevantes para este diseño eléctrico de la siguiente manera.

Iluminancia

Los valores dados en el “Listado de interiores (áreas), tareas o actividades con especificación de la iluminancia, la limitación del deslumbramiento y la calidad de color” hacer referencia en apéndice son las iluminancias mantenidas sobre el área de la tarea en la superficie de referencia, la cual puede ser horizontal, vertical o inclinada. La iluminancia media para cada tarea no estará por debajo de los valores dados en el capítulo 5, haciendo caso omiso de la edad y condición de la instalación (INTECO, 2016, p. 10).

Escala de iluminancias

En condiciones normales de iluminación, se requiere una iluminancia horizontal de 20 lux, aproximadamente, para discernir las características del rostro humano y es el valor mínimo que se toma para la escala de iluminancias. La escala recomendada de iluminancias es:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000 lux (INTECO, 2016, p. 11).

Iluminación de los entornos inmediatos

La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas estará vinculada a la iluminancia del área de la tarea y debe proporcionar una distribución bien balanceada de las luminancias en el campo visual.

Los cambios espaciales rápidos en las iluminancias alrededor del área de la tarea pueden conducir a la tensión visual y a la incomodidad (INTECO, 2016, p. 11).

La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia de la tarea, pero no será menor que los valores dados en la tabla siguiente:

Tabla 5. Iluminancia de los entornos inmediatos

Iluminancia de la tarea (LUX)	Iluminancia de los entornos inmediatos (LUX)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Igual a la iluminancia de la tarea

Fuente: INTECO, 2016

Deslumbramiento

El deslumbramiento lo define (INTECO, 2016) como “la sensación visual provocada por áreas brillantes dentro del campo visual y que puede ser percibida como un deslumbramiento molesto o un deslumbramiento incapacitante. El deslumbramiento puede también ser provocado por reflexiones en superficies especulares, conocidas usualmente como reflexiones velantes o deslumbramiento reflejado. Es importante limitar el deslumbramiento, para evitar errores, fatiga y accidentes” (p. 11).

Apariencia de color

La apariencia del color es importante para lograr ambientes adecuados para la adecuada experiencia del ser humano, como lo describe (INTECO, 2016) “La selección de la apariencia de color es un tema de la psicología, la estética y de lo que se considera que es natural. La selección depende de la iluminancia, de los colores del local y el amueblamiento, el clima del medio y la aplicación. En climas cálidos se prefiere generalmente una apariencia más fría en el color de la luz, en tanto se prefiere una apariencia más cálida en el color de la luz en climas fríos” (p.14). Con base a la información para lograr ambientes agradables en el diseño de un lugar turístico es de suma importancia considerar la apariencia del color en la selección de las luminarias de igual manera (INTECO, 2016) determina que la “apariencia de color” de una lámpara se refiere al color aparente (cromaticidad de la lámpara) de la luz que ella emite. Puede describirse por su temperatura de color correlacionada. Las lámparas se dividen usualmente en tres grupos de acuerdo con su temperatura de color correlacionada (p.14).

Donde se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Temperatura del color en iluminación

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada
Cálida	Inferior a 3 300 K
Intermedia	De 3 300 K a 5 300 K
Fría	Superior a 5 300 K

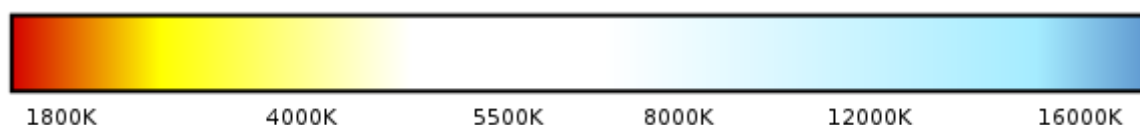
Fuente: INTECO, 2016

Temperatura de color

La Temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un Cuerpo Negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color generalmente se expresa en kelvin (K), a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura. Generalmente no es perceptible a simple vista, sino mediante la comparación directa entre dos luces como podría ser la observación de una hoja de papel normal bajo una luz de tungsteno (lámpara incandescente) y a otra bajo la de un tubo fluorescente (luz de día) simultáneamente (Sylvania, 2016, Temperatura de color, párr.1).

Una definición más específica brinda (Muchos Leds, S.L., 2018) en su página web y menciona que se denominan fuentes lumínicas cálidas a aquellas que, debido a su temperatura de color, tienen tonos cercanos al rojo, y frías las que tienen tonos próximos al azul. Las fuentes lumínicas situadas en el medio de ambas se consideran neutras (Muchos Leds, S.L., 2018, Luces cálidas, neutras y Frías, párr.5).

Figura 3. Temperatura del color



Fuente: Muchos Leds, S.L., 2018

Reproducción de color

Es importante, tanto para la ejecución visual como para la sensación de comodidad y bienestar, que los colores en el entorno de los objetos y la piel humana se asemejen a los colores naturales, correctamente y en una forma que haga lucir a las personas atractivas y saludables.

Para proporcionar una indicación objetiva de las propiedades de rendimiento de una fuente de luz, se ha introducido el índice general Ra de rendimiento de color. El valor máximo de Ra es 100. Esta cifra disminuye a medida que disminuye la calidad del rendimiento de color.

Las lámparas con un Ra menor de 80 no se deben utilizar en interiores en que trabajan personas o en que éstas permanecen largos períodos. Las excepciones pueden ser la iluminación de espacios de gran altura y la iluminación de exteriores. (Proyectores industriales utilizados a alturas mayores de 6 m). Aún en estos casos se deben tomar medidas adecuadas para garantizar

que se usen lámparas de los más altos valores de rendimiento de color en los locales de trabajo ocupados en forma continua y en los que han de reconocerse los colores de seguridad (INTECO, 2016, pp. 14-15).

Energías renovables

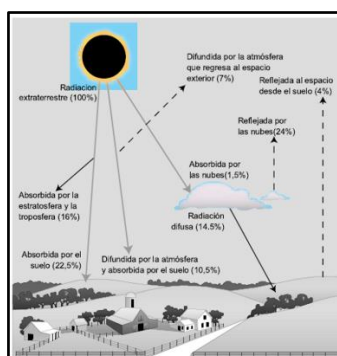
Como define Castells (2012) “la energía renovable podría definirse como aquella que no consume recursos y además no contamina (en el sentido clásico de la palabra), es decir, que se trata de unas fuentes de suministro que pueden hacer de la energía un elemento sostenible” (p.596).

La preocupación creciente de la demanda de energía, junto con las perspectivas de un periodo limitado de las reservas de energías fósiles, y una potencial inestabilidad en el abastecimiento seguro y continuado por parte de los países productores, ha hecho prosperar el convencimiento de que en el futuro serán cada vez más importantes, y estarán más ampliamente extendidas, las denominadas “energías renovables” compatibles con un crecimiento económico sostenible (Castells, 2012, p. 596).

Energía solar

El Sol es el origen de la energía solar y de las otras fuentes renovables de energía. Esta estrella es un enorme reactor de fusión nuclear que transforma parte de su masa en energía. El Sol emite al espacio energía en forma de radiación electromagnética, la cual puede desplazarse en el vacío, es decir, no requiere medio material para propagarse (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009, p. 152).

Figura 4 Energía del sol que llega a la tierra



Fuente: Centrales de energías renovables

Potencial de la energía solar térmica.

La potencia recibida en la parte superior de la atmósfera sobre una superficie perpendicular al rayo de sol, en el caso de una distancia al Sol promedio, se denomina constante solar, cuyo valor aproximado es de 1.367 kW/m². Esta cantidad se reduce hasta aproximadamente 900 W/m² cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo.

La distribución de la energía solar que llega a la Tierra no es uniforme. En la caracterización de la radiación solar incidente en la Tierra, con el objeto de estimar el potencial solar, intervienen diversos factores. Entre estos factores pueden señalarse:

- Las condiciones climatológicas, que influyen en el grado de nubosidad, la turbidez atmosférica,
- Viento predominante, etc.
- Época del año.
- La latitud del lugar.
- Orientación de la superficie receptora.

(Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009, p. 154).

Sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico lo describe (Perpiñán Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012) como un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente es el módulo fotovoltaico, compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua (p. 1).

El módulo fotovoltaico.

Denominado panel solar o módulo fotovoltaico, su principal función es la de proporcionar energía a la instalación a partir de la irradiación solar, aprovechando el efecto fotoeléctrico.

Un panel solar está formado por la interconexión de varias células solares en serie y/o paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente, puesto que cada célula puede suministrar del orden de 0,5 voltios. Para los paneles solares de uniones de silicio y con

conexiones de células en serie, los valores de tensión por número de células rondan las 36 células para 12 voltios y 72 células para 24 (Aparicio, 2010).

Efecto Fotovoltaico.

La transformación de la radiación solar en energía eléctrica se realiza mediante un dispositivo denominado célula fotovoltaica. El proceso que realiza esta transformación se denomina efecto fotovoltaico, y se produce cuando la radiación solar incide sobre un material semiconductor.

Las células fotovoltaicas están formadas fundamentalmente por silicio. Este material es modificado químicamente para dar lugar a dos estructuras eléctricamente distintas entre sí, semiconductor tipo p y semiconductor tipo n. Una vez que estos elementos se ponen en contacto, y se expone a la radiación solar, los fotones que transportan la energía de la luz solar, al incidir sobre ellos, hacen que generen una corriente eléctrica, convirtiendo así la célula fotovoltaica en una pequeña pila generadora de energía eléctrica (Aparicio, 2010, p. 9).

El vidrio frontal deber tener y mantener una alta transmisividad en la banda espectral en la que trabaja las células solares. Además, debe tener excelente resistencia al impacto y a la abrasión. Su superficie debe ser de forma que combine un buen comportamiento antirreflector con la ausencia de bordes o desniveles que faciliten la acumulación de suciedad, o que dificulten la limpieza de esta mediante la acción combinada del viento y la lluvia. Frecuentemente se emplea vidrio templado con bajo contenido en hierro con algún tipo de tratamiento antirreflector (Perpiñán Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012, p.10). Con objeto de poder comparar las curvas características eléctricas de las distintas células fotovoltaicas existentes en el mercado se definen unas condiciones estándar de medida, que son: irradiancia de 1000 W/m², 25° C en célula y velocidad del viento de 1 m/s. En estas condiciones, los valores de la célula suelen ser los siguientes (Aparicio, 2010, p. 10):

$$I_{sc} \sim 3 - 3,5 \text{ A}$$

$$V_{oc} \sim 0,6 - 0,7 \text{ V}$$

Tipos de módulos Fotovoltaico.

Las células solares, o células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por una unión P-N y construidas con silicio monocristalino.

Las células se fabrican mediante la cristalización del silicio, por lo que se encuentran tres tipos principales (los más utilizados):

1. Monocristalino: presenta una estructura cristalina completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro. Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica.
2. Policristalino: presenta una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento. Se obtiene de la misma forma que el monocristalino, pero con menos fases de cristalización (combinación de átomos). Se reconoce porque en su superficie se distinguen distintos tonos de azules y grises metálicos.
3. Amorfo: presentan un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química. Su proceso de fabricación es menos costoso que los anteriores (se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico). Tienen un color homogéneo. Los paneles con células de tipo amorfo se utilizan en instalaciones de fotovoltaica conectadas a red, ya que permiten una mayor integración arquitectónica en viviendas y edificios (Aparicio, 2010, p. 11).

Características eléctricas de módulo fotovoltaico.

Las variables eléctricas mencionadas por (Aparicio, 2010) que son importantes para la comprensión de las fichas técnicas y las curvas características de los paneles solares (p.13) se detallan a continuación:

- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}): es la máxima intensidad que se puede obtener en un panel o módulo fotovoltaico. Se calcula midiendo la corriente entre los bornes del panel cuando se provoca un cortocircuito.
- Tensión en circuito abierto (V_{oc}): es el valor máximo de voltaje que se mediría en un panel o módulo si no hubiese paso de corriente entre los bornes del mismo.
- Tensión nominal (V_n): es el valor de diseño al que trabaja el panel o módulo fotovoltaico.
- Potencia máxima (P_{Max}): es el valor máximo de potencia que se obtiene entre el producto de la corriente por la tensión de salida del panel o módulo fotovoltaico. También se denomina

potencia de pico del panel; este último término es el más utilizado para los cálculos de una instalación conectada a la red.

- Tensión máxima (V_{Max}): corresponde con el valor de tensión para la potencia máxima. Se trata aproximadamente del 80% de la tensión en circuito abierto. En algunos casos se indica como V_{mp} (de potencia máxima).

- Corriente máxima (I_{Max}): se corresponde con el valor de corriente para la potencia máxima.

Las variables eléctricas mencionadas por (Aparicio, 2010) que son importantes para la comprensión de las fichas técnicas y las curvas características de los paneles solares (p.13) se detallan a continuación:

Eficiencia del módulo.

La eficiencia es el cociente entre la potencia eléctrica producida por el módulo y la irradiación incidente sobre el mismo. Es decir, es el cociente entre la potencia máxima de la celda con la potencia luminosa recibida por la célula, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Fórmula eficiencia del módulo

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{V_M * I_M}{P_L}$$

Fuente: Energía solar fotovoltaica

Donde,

η = eficiencia del módulo

P_M = Potencia Máxima

P_L = Potencia Luminosa

V_M = Voltaje Máximo

I_M = Corriente Máxima

El rendimiento del panel (η_{panel}), se puede escoger valores típicos entre el 85 al 95%. Como norma general se escoge un rendimiento general del 90%, por lo que se multiplica por 0,9. (Aparicio, 2010)

Energía generada por un panel.

Para el cálculo se debe tener en cuenta que la energía que genera un panel solar (E_{panel}) durante un día, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 5 Fórmula energía generada por un panel

$$E_{panel} = I_{panel}(0.9) * HPS * \eta_{panel} \left[\frac{Ah}{día} \right]$$

Fuente: Energía solar fotovoltaica

Donde,

E_{panel} = Energía generada por el panel.

I_{panel} = Corriente generada por el panel.

HPS = Hora Pico Solar

η = eficiencia del módulo

Asociación en serie y en paralelo de módulo fotovoltaico.

Paralelo: se conectan todos los polos positivos y, por separado, todos los polos negativos. Con ello se consigue aumentar la corriente generada y mantener un mismo valor de tensión. La corriente generada es igual a la suma de todas las corrientes generadas por cada módulo, o lo que es lo mismo, el producto de la corriente generada por un módulo por el número de módulos (Aparicio, 2010, p. 18).

Serie: se conectan un polo positivo de un módulo negativo con el polo negativo del siguiente. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada. La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo, o lo que es lo mismo, el producto de la tensión de un módulo por el número de módulos (ya que se supone que tienen las mismas características) (Aparicio, 2010, p. 19).

Mixto: Se encuentran asociados tanto en serie como en paralelo (Aparicio, 2010, p. 19).

Dimensionamiento de una instalación.

Antes de comenzar por el proceso de dimensionado de una instalación es necesario conocer una serie de datos relacionados con el lugar y la instalación:

- Condiciones de uso: demanda energética y uso (Wh/d)
- Datos climatológicos: conocer la irradiación de la que disponemos (MJ/m²). (Aparicio, 2010, pág. 35)

Ecuación 6 Fórmula corriente máxima de consumo

$$I_{inst_max} = \frac{P_{max}}{V}$$

Fuente: Energía solar fotovoltaica

Donde,

I_{inst_max} , Corriente máxima de consumo

P_{max} , Potencia máxima

V , Voltaje

Dimensionamiento

Radiación solar incidente: Para el cálculo de la radiación incidente se utiliza, por un lado, los valores indicados en las tablas de radiación que nos determinarán la energía global diaria incidente, para el puesto, inclinación y orientación que hemos determinado. En el caso de la electrificación autónoma fotovoltaica, el cálculo está encaminado a procurar el máximo autoabastecimiento energético y, por tanto, a la hora de determinar la energía de la que podemos disponer, se escoge los datos del mes del año más desfavorable, es decir, el mes del año con la menor radiación solar global diaria disponible. Por el contrario, en las instalaciones con conexión a red, donde el suministro eléctrico está garantizado, la inclinación a escoger será la que optimice la producción anual de electricidad, salvo la existencia de limitadores físicos en la edificación (Salvador Escoda S.A, 2018, p. 190).

Una vez se conoce la radiación incidente en Wh/m² se divide entre la potencia de radiación estándar que se utiliza para calibrar los módulos (1000 W/m²) y se obtiene la cantidad de HSP (horas solar pico) equivalentes o número de horas a potencia nominal equivalentes. Este valor vendría a ser las horas que debería lucir el Sol a intensidad fija de 1.000 W/m² para producir la misma energía que llega en realidad durante un día (Salvador Escoda S.A, 2018, p. 190).

Ecuación 7 Hora Solar Pico

$$HSP(hrs) = \frac{\text{Radiación incidente } (\frac{Wh}{m^2})}{\text{Potencia radiación estándar } (\frac{1000W}{m^2})}$$

Fuente: Libro blanco de la energías renovables

Donde,

HSP, Horas solar pico

Energía diaria necesaria.

Es el punto de partida del dimensionamiento de una instalación fotovoltaica, ya que de aquí se iniciarán todos los cálculos y criterios de diseño de los equipos de la instalación (Wh/día) (Salvador Escoda S.A, 2018, p. 191).

Cálculo del número total de módulos fotovoltaicos.

Es uno de los datos más importantes de la instalación, ya que de esta configuración se parte como referencia para calcular el resto de las componentes de la instalación (regulador, batería, inversor).

Figura 1 Fórmula número de módulos

$$\#Módulos = \frac{\text{Energía Diaria } (\frac{Wh}{día})}{P_{panel\ pico} * PR (0.85) * HSP}$$

Fuente: Libro blanco de la energías renovables

Donde:

- $P_{panel\ pico}$, Potencia pico del módulo.

- PR, rendimiento global donde según (Salvador Escoda S.A, 2018) se utiliza entre un 0.70 a 0.80 (p.192).
- HSP, hora solar pico.

Colocación de los módulos.

Los módulos fotovoltaicos se deben instalar de forma que aprovechen la irradiación solar al máximo. También se deberá tener presente la distancia mínima que se debe utilizar para que no se produzca el efecto de sombra entre los módulos fotovoltaicos y otros, así como el cálculo para evitar las sombras de cualquier otro objeto (Aparicio, 2010, p. 88).

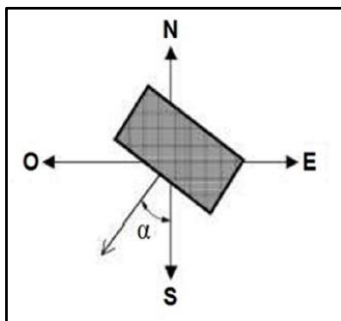
Orientación del módulo.

Como norma general se debe saber que los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el sur, si la ubicación es en el hemisferio norte (si la ubicación en el hemisferio sur habría que orientarlos hacia el norte).

Nota: se define la orientación como el ángulo de desviación respecto al sur geográfico de una superficie. El sur geográfico real no debe confundirse con el sur magnético. Comentar que son admisibles unas desviaciones máximas de un +20% respecto al sur geográfico (Aparicio, 2010, p. 92).

En la Figura 5 Ángulo Azimut se muestra esta desviación con un ángulo α respecto al sur geográfico. A este ángulo se le denomina Azimut, correspondiéndose el valor de 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste (Aparicio, 2010, p.92).

Figura 5 Ángulo Azimut



Fuente: Energía solar fotovoltaica

Para determinar el ángulo de inclinación según la ubicación geográfica del país, la fórmula a utilizar es:

$$I_m = \Phi + 10^\circ$$

Donde:

I_m : Es la inclinación máxima en grados

Φ : Es la latitud del lugar de la instalación

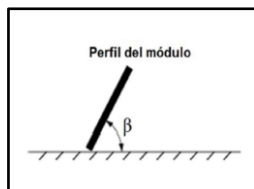
(Aparicio, 2010, p. 93)

Inclinación del módulo.

La irradiación solar que incide sobre el panel puede variar en función del ángulo que forme con la horizontal (inclinación). Así pues, en función de la inclinación, la captación de energía solar puede variar y será máxima cuando la posición de la placa sea perpendicular con la irradiación.

Nota: se define la inclinación como el ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal (Aparicio, 2010, p. 93).

Figura 2 Ángulo de inclinación de un módulo fotovoltaico



Fuente: Energía solar fotovoltaica

Efecto de sombras y distancias mínimas entre paneles.

Cuando se va a realizar la instalación de los módulos fotovoltaicos, influyen las sombras que puedan proporcionar obstáculos próximos (por ejemplo: edificios, montañas, chimeneas, árboles), o por otros módulos cuando hay varias alineaciones de módulos.

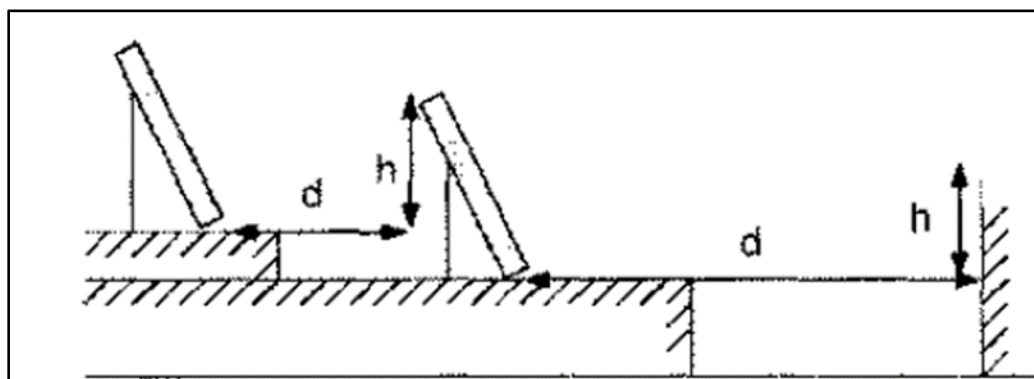
Para el cálculo de la distancia (d) se puede obtener sabiendo la altura (h).

Ecuación 8 Fórmula distancia

$$d = \frac{h}{\tan (67^{\circ} - \text{latitud})} = [m]$$

Fuente: Energía solar fotovoltaica

Figura 3 Distancia entre paneles y posibles obstáculos



Fuente: Energía solar fotovoltaica

Inversor DC/AC.

La señal de potencia suministrada por un generador fotovoltaico iluminado es en tensión continua, que debe ser acondicionada para permitir el correcto acoplamiento a la red eléctrica. El equipo de acondicionamiento de potencia, denominado inversor DC/AC, realiza la conversión de continua a alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de voltaje y corriente, eficiencia y rendimiento, seguridad eléctrica (Perpiñán Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012, p. 21).

Características de un inversor comercial.

La ficha técnica proporcionada por el fabricante de un inversor puede incluir los siguientes parámetros:

- Potencia nominal y máxima, siendo esta un porcentaje de sobrecarga que el equipo es capaz de soportar durante un determinado periodo de tiempo.
- Ventana de búsqueda de Max potencia.
- Tensión máxima de entrada: es la máxima tensión que el inversor puede aguantar sin sufrir una avería. A diferencia de la ventana de tensiones anterior, sobrepasar esta tensión tiene consecuencias importantes sobre algunos componentes de entrada al inversor.
- Tensión nominal de salida: es la tensión de red a la que se puede conectar el inversor.
- Eficiencia máxima: máximo valor que toma la relación entre potencia de salida y potencia de entrada.
- Umbral de arranque: según las unidades en la que se expresa, puede indicar la radiación solar incidente en el generador o la potencia de entrada necesaria para que el inversor comience el proceso de conversión (Perpiñán Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012, p. 21).

Tipos de inversores.

A grandes rasgos, los inversores pueden agruparse en tres categorías:

- Inversor central: un único inversor dedicado a todo el generador (o a conjunto de ramas), son recomendables para instalaciones de medio o gran tamaño. Permiten reducir costos y aumentar fiabilidad y eficiencia.
- Inversión orientado a rama: un inversor dedicado a una rama del generador, son particularmente útiles en algunos sistemas de integración arquitectónica, al poder adaptarse mejor a las condiciones de funcionamiento con orientaciones e inclinaciones diversas.
- Módulo-AC: un inversor dedicado a un módulo del generador, deben descartarse, en cualquier caso, salvo para pequeños sistemas demostrativos (Perpiñán Lamigueiro, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2012, p. 22).

Los inversores para sistemas aislados son diferentes a los utilizados en sistemas conectados a la red como lo indica (Aparicio, 2010) “se ha creído conveniente dar algunas nociones de este tipo de convertidores para que se aprecie la diferencia entre los utilizados para una instalación aislada, ya que no son compatibles (los utilizados en una instalación conectada a la red no sirven para una instalación aislada y viceversa)” (p.44).

Dimensionamiento de los conductores en DC y AC y dispositivos de protección de sobre corriente.

Según el código eléctrico nacional (National Fire Protection Association, 2014) para el cálculo de los conductores y protección de los circuitos, la sección 690.8(A)(1) indica: “La corriente máxima debe ser la suma de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo multiplicado por el 125 por ciento” (p. 668).

Ecuación 9 Corriente Circuito DC

$$I_{\text{Circuito DC}} = I_{\text{max del panel}} * 1,25$$

(National Fire Protection Association, 2014)

Para la corriente de salida en AC del inversor se aplica la sección 690.8(A)(3) (National Fire Protection Association, 2014) “la corriente máxima debe ser la corriente nominal permanente de salida del inversor (p. 668).

Ecuación 10 Corriente de salida AC

$$I_{\text{Circuito AC salida inversor}} = I_{\text{max}}$$

(National Fire Protection Association, 2014).

Para el dimensionamiento de los conductores de interconexión de los módulos se aplica la sección 690.8(D) (National Fire Protection Association, 2014) “cuando se utiliza un solo dispositivo de protección contra sobre corriente para proteger un grupo de dos o más circuitos de

módulos conectados en paralelo, la ampacidad de cada uno de los conductores de interconexión del módulo no debe ser inferior a la suma del valor nominal de un solo fusible más el 125 por ciento de la corriente de cortocircuito de los otros módulos conectados en paralelo” (pp.668-669).

En la sección 690.9 (E) (National Fire Protection Association, 2014) establece que “se permitirá un solo dispositivo de protección contra sobre corriente en las cadenas de dos o más módulos conectados en serie.

Para el cálculo de los conductores de puesta a tierra (National Fire Protection Association, 2014) establece en la sección 690.41 “para una fuente de alimentación fotovoltaica, un conductor de un sistema bifilar con una tensión del sistema fotovoltaico de más de 50 volts nominales o el conductor de referencia de un sistema bipolar debe estar sólidamente puesto a tierra o debe utilizar otros métodos que logren una protección equivalente del sistema de acuerdo con la sección 2504(A) y que utilicen equipo listado e identificado para ese uso. (p.973). Además, la sección 690.43 indica “se deben poner a tierra todas las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos, equipos y envolventes de los conductores” (p.70-673)

Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla.

Según el reglamento de generación distribuida vigente en Costa Rica, se extraen los artículos relevantes para hacer aplicados en la investigación. Es de suma importancia el conocimiento y aplicación de las limitantes de este reglamento, ya que de esto dependerá la metodología de diseño para lograr un balance entre la economía y la eficiencia del sistema fotovoltaico.

Se exceptúan del licenciamiento ambiental otorgado por la SETENA, aquellos sistemas de generación distribuida para autoconsumo cuya fuente de energía utilice tecnología fotovoltaica con potencias iguales o menores a 500 kVA.

Artículo 34.-Autorización para almacenamiento y retiro de energía. El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual.

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

Artículo 37.-Medición neta sencilla. Esta modalidad permite que se deposite en la red de distribución la energía no consumida en forma mensual, para hacer uso de ella durante un ciclo anual, en forma de consumo diferido.

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

Artículo 44.-Capacidad máxima de sistemas conectados a un circuito. La capacidad máxima de todos los sistemas de generación conectados en un mismo circuito, incluyendo el sistema propuesto, no deberá exceder el quince por ciento (15%) de la demanda máxima anual del circuito. Se considera demanda máxima, como aquella medida a la salida de la subestación a la cual está conectado el circuito bajo condiciones de operación normal del mismo, no se considera la potencia asociada a los circuitos de respaldo. (Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla (MINAE).

VAN y TIR Principios de Finanzas corporativas

Cálculo de la TIR

La tasa interna de rendimiento se define como la tasa de descuento a la cual $VPN = 0$.

Esto significa que para encontrar la TIR de un proyecto de inversión que dure T años, debemos despejar la TIR de la expresión siguiente (Allen, A. Brealey, & C. Myers, 2010, p. 122):

Ecuación 11 Fórmula valor actual neto

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1 + TIR} + \frac{C_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1 + TIR)^T} = 0$$

Fuente: Principios de finanzas corporativas

Para calcular la TIR, se sigue el método de prueba y error. Por ejemplo, consideremos un proyecto que genere los siguientes flujos:

Figura 6 Ejemplo flujos de efectivo

Flujos de efectivo dólares		
C_0	C_1	C_2
-4 000	+2 000	+4 000

Fuente: Principios de finanzas corporativas

La tasa interna de rendimiento es la TIR en la ecuación:

Ecuación 12 Fórmula tasa interna de rendimiento

$$VAN = -4000 + \frac{2000}{1 + TIR} + \frac{4000}{(1 + TIR)^2} = 0$$

Fuente: Principios de finanzas corporativas

Algunas personas confunden la tasa interna de rendimiento con el costo de oportunidad del capital, porque los dos entran como tasas de descuento en la fórmula del VAN.

La tasa interna de rendimiento es una medida de rentabilidad que depende únicamente de la cantidad y los plazos de los flujos de efectivo. El costo de oportunidad del capital es un estándar de rentabilidad que empleamos para calcular cuánto vale el proyecto. El costo de oportunidad del capital se establece en los mercados de capitales y corresponde a la tasa de rendimiento esperada de otros activos que tienen el mismo nivel de riesgo que el proyecto sujeto a evaluación.

La regla de la TIR

La regla de la tasa interna de rendimiento consiste en aceptar un proyecto de inversión si el costo de oportunidad del capital es menor que la tasa interna de rendimiento. Si el costo de oportunidad del capital es menor que la TIR de 28%, entonces el proyecto tiene un VPN positivo cuando se descuenta al costo de oportunidad del capital. Si es igual a la TIR, el proyecto tiene un

VPN de cero, y si es mayor el proyecto tendrá un VPN negativo. Por lo tanto, cuando comparamos el costo de oportunidad del capital con la TIR de nuestro proyecto, en realidad preguntamos si el proyecto tiene un VPN positivo, y así ocurre en todos los casos: la regla siempre dará la misma respuesta que la regla del valor presente neto si el VPN de un proyecto es una función de la tasa de descuento que decrece suavemente (Allen, A. Brealey, & C. Myers, 2010, p. 128).

Cálculo del VAN

Para hallar el valor presente neto, primero calculamos su valor presente. Se descuenta el flujo de efectivo futuro con una tasa adecuada r , que generalmente se conoce como tasa de descuento, tasa mínima aceptable, o costo de oportunidad del capital:

Ecuación 13 Fórmula valor presente

$$VP = \frac{C_1}{1 + r}$$

Fuente: Principios de finanzas corporativas

La fórmula básica del valor presente de un activo que paga en varios periodos es la siguiente extensión obvia de la fórmula para un período:

Ecuación 14 Fórmula valor presente neto

$$VAN = C_0 + \frac{C_1}{1 + r} + \frac{C_2}{(1 + r)^2}$$

Fuente: Principios de finanzas corporativas

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

El enfoque seleccionado para la investigación es el cuantitativo, ya que se proponen soluciones a un problema en específico utilizando variables con naturaleza numérica. Y por lo tanto, el resultado y propuesta ingenieril será cuantitativo.

Método de investigación

Para dar una con una solución al problema planteado el primer paso será hacer un levantamiento en sitio con el usuario final del proyecto, incluyendo el dimensionamiento, aplicaciones eléctricas a utilizar y las limitaciones vistas en el lugar y otras por deseos del usuario.

Cuando se obtengan los datos de las aplicaciones eléctricas a utilizar y se termine el diagnóstico, se iniciará con el diseño eléctrico para calcular la potencia eléctrica requerida en el lugar, basado en el código eléctrico nacional y realizando una memoria de cálculo se completará un diseño en planos el cual será un entregable para que sirva de guía en caso de la construcción del proyecto.

Una vez con estos datos, se iniciará una formulación de escenarios para ser comparados cuantitativamente y de forma técnica para iniciar a dar forma a la propuesta que recibirán los usuarios finales. De forma iterativa se buscará llegar al diseño óptimo de paneles solares donde utilizando los factores de cálculo menos favorables, obtener la cantidad necesaria de módulos solares que beneficie el proyecto de forma positiva económicamente.

Cuando el dimensionamiento de todos los escenarios esté finalizado y tengan todo lo necesario para el óptimo funcionamiento, mediante estimaciones de costo con proveedores nacionales e internacionales se realizará una comparativa económica para hacer una propuesta formal y final del proyecto.

Por último, si alguno de los escenarios es positivo se realizará una actualización a los planos finales y se propone un diagrama unifilar para la guía constructiva si se llega a realizar el proyecto.

Fuentes de información

Inicialmente la principal fuente de información para inicio del dimensionamiento de potencia y de infraestructura eléctrica es el usuario final que, basado en sus objetivos, brinda todos los datos necesarios para la realización del diseño eléctrico además de suministrar las plantas arquitectónicas del lugar a construir.

Las fuentes bibliográficas consultadas son de vital importancia para el desarrollo de los distintos escenarios ya que son la guía para realizar la investigación y por ende dar un criterio apropiado para la toma de decisiones.

Las normativas nacionales para el diseño son pilar de igual manera para hacer un diseño confiable y seguro para el interesado final en la construcción del proyecto. Así como la información técnica de los proveedores.

Procesos para la recolección y análisis de datos

La recolección y análisis de datos se dará mediante entrevistas a los usuarios del proyecto para lograr dimensionar el anteproyecto, recolección de información técnica de proveedores y suplidores de equipos a nivel nacional para hacer viable la implementación del proyecto con equipos de venta y demanda nacional, que a su vez cuenten con respaldo técnico para la evacuación de dudas sobre su operación.

Los cálculos realizados serán obtenidos con base de la recopilación de datos anteriores y se ejecutará metodología matemática para obtener los resultados necesarios para que los interesados en el proyecto tomen la decisión basados en una propuesta confiable que esta investigación dará como resultado y propuesta ingenieril será cuantitativo.

El proceso de investigación se realizará en 4 etapas, utilizando los recursos establecidos y procesando la información para el cumplimiento de los objetivos.

Etapas I: Planteamiento del problema y dimensionamiento del anteproyecto

Se expusieron: el problema, los objetivos, el alcance y las limitaciones. Así como se dimensiono los requerimientos de los usuarios finales para establecer las normativas a utilizar en la investigación y las herramientas necesarias.

Etapas II: Investigación

Se abarca toda la información relevante sobre lo establecido en el anteproyecto, seleccionando la información necesaria para el respaldo teórico del diseño eléctrico, normativa vigente, equipos a utilizar, proveedores locales y búsqueda de láminas arquitectónicas para el desarrollo del diseño y dimensionamiento.

Etapas III: Desarrollo

Se realizan cálculos, dibujo en software de dibujo asistido por computadora (CAD) y simulaciones para cálculo de iluminación, estudios de demanda de cargas, selección de equipos a utilizar, cálculos y ubicación en planta definitivas. Además de realizar memorias de cálculo iterativas para el planteamiento del escenario óptimo para lograr la mejor eficiencia del diseño eléctrico en general.

Etapas IV: Conclusiones

Como etapa final se busca obtener conclusiones basadas en los objetivos propuestos y realizar las recomendaciones finales.

Variables o Categorías de análisis

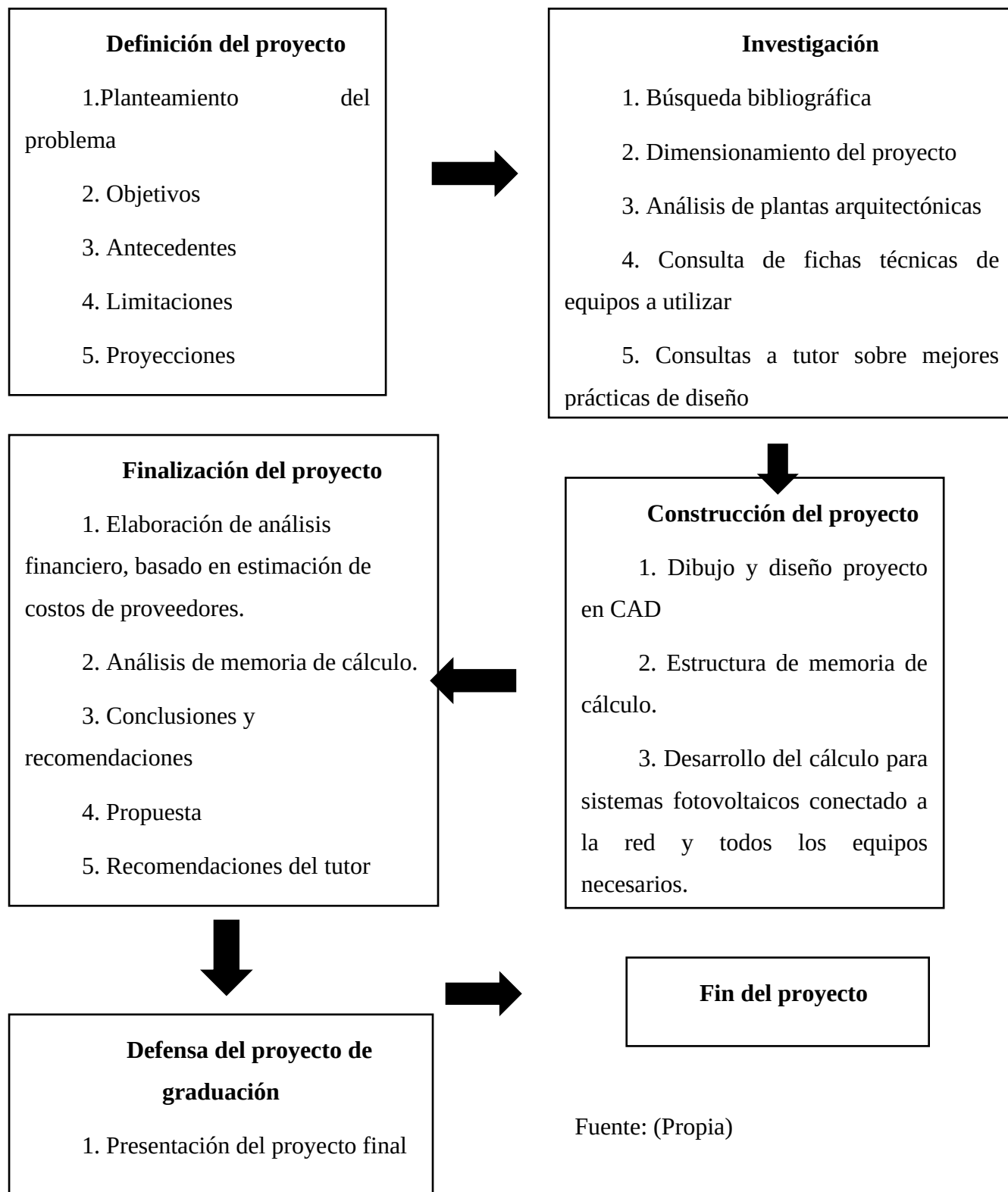
- Consumo de cada uno de los edificios del complejo turístico
- Capacidad de equipos seleccionados
- Cantidad de equipos a utilizar
- Tipo de equipos a utilizar
- Dimensión de conductores
- Dimensión de protecciones
- Dimensión de canalización general
- Dimensión de canalización de media tensión
- Costos de inversión

Instrumentos

Se realizarán distintos usos de software para realizar hojas de cálculos y dimensionamiento de variables importantes para el diseño eléctrico, simuladores de iluminación Dialux, así como

fórmulas estadísticas para desarrollar datos proyectados. Software de dibujo asistido por computadora AUTOCAD.

Figura 7 Diagrama de flujo marco metodológico



CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

Diagnóstico

Como principal objetivo de la investigación es realizar el diseño eléctrico de un complejo turístico, el cual se encuentra en la etapa de planificación constructiva. Corresponde a una zona turística en auge con un crecimiento económico importante y muy llamativa para el turismo nacional e internacional. Adicionalmente, el interés es lograr un centro turístico que además de recreativo sea un lugar de relajación, restauración emocional, convivencia con la flora y fauna de la región, práctica de actividades como el yoga y demás disciplinas que busquen como objetivo el bienestar del ser humano. Por lo tanto, un diseño pensado en el beneficio de estos factores es importante así como su iluminación y avances tecnológicos que brinden una convivencia agradable y que además logre una mayor eficiencia energética para lograr contribuir con el medio ambiente mediante la cogeneración con energías renovables que a su vez busca explorar y sentar las bases para una tendencia de construcción sostenible en el país.

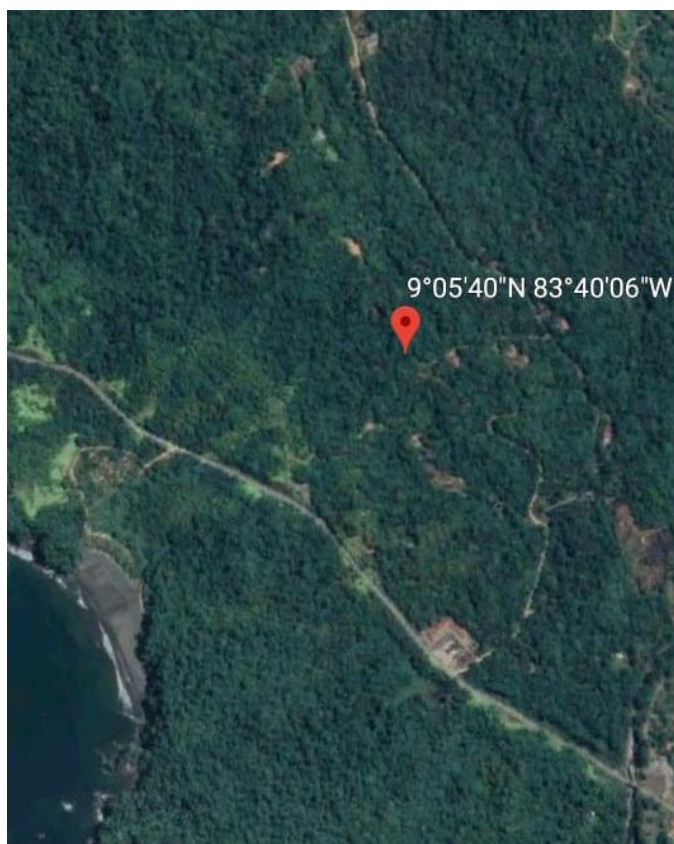
Se ubica en la zona turística del pacífico sur a escasos minutos de la costa. Donde las coordenadas específicas son las siguientes:

Figura 8 Coordenadas ubicación del proyecto

Coordenadas	
Latitud Norte	09° 05' 40"
Latitud Oeste	83° 40' 06"

Fuente: Propia

Figura 9 Imagen satelital del proyecto



Fuente: (Google Earth, s f.).

Diseño eléctrico

Siguiendo lo planteado en el marco referencial es importante establecer el alcance del proyecto en general, donde la información que brinden los interesados finales es fundamental para la etapa del anteproyecto eléctrico, donde se define la cantidad de edificios a construir, su aplicación específica, por otra parte definir la distancia y dimensionamiento de los edificios es importante para el diseño de conductores y determinar las caídas de voltaje para cumplir con la normativa a respetar en el diseño. El proyecto se basará en el dimensionamiento de las cargas para el análisis de implementación del sistema de energía solar. No se incluyen sistemas de telecomunicaciones, aunque se consideran los consumos necesarios por los equipos a ubicar.

Se determinaron la siguiente cantidad de edificios y su aplicación para el inicio de cálculo de cargas:

Tabla 7 Edificios y características correspondientes

Edificio	Aplicación	Área (m2)
Recepción y Caseta de seguridad	Estacionamiento para 4 vehículos para clientes y residentes del complejo, además contará con cargadores para recarga de vehículos eléctricos.	125
Villa #1	Villa con estacionamiento privado y cargador de vehículos eléctricos. Dos habitaciones y pequeña cocina, un cuarto de baño. Acceso independiente por vía pública.	92
Villa #2	Dos habitaciones pequeña cocina y comedor, un cuarto de baño.	46
Villa #3 y # 4	Villa con una habitación y cuarto de baño.	26
Deck yoga	Deck para actividades al aire libre con techo	56
Salón Multiuso	Pequeño restaurante con comedor y salón para eventos y actividades.	144
Piscina	Piscina recreativa con zonas comunes, dos locales para cocción por parrilla de carbón.	22
Backpackers	Dormitorio común, cocina y comedor común con áreas de entretenimiento comunes, sala de baño común.	88
Lavandería	Lavandería para todo el complejo, se proyectan dos lavadoras y dos secadoras.	13

Fuente: (propia)

Los sistemas para diseñar son:

- Tomacorrientes y salidas especiales.
- Iluminación.
- Tableros y acometidas en general.
- Previstas de electrolineras.

Para el dimensionamiento de los circuitos ramales, necesarios para la distribución de los tableros, cálculo de la acometida y dimensionamiento del sistema fotovoltaico es necesario considerar los artículos del código eléctrico nacional para su correcta aplicación y de esa manera asegurar su cumplimiento, dejando como evidencia una memoria de cálculo que facilite realizar

la matemática necesaria para generar los datos que respaldarán el diseño mejor adaptado a las solicitudes y alcances del proyecto.

Diseño de circuitos ramales

Tomacorrientes y salidas especiales

Para iniciar los cálculos de los tableros y acometidas en general, se deberá hacer la distribución de los tomacorrientes que, según la normativa vigente ningún punto medido de forma horizontal puede exceder 1.8m desde un tomacorriente en la pared, por lo que se utiliza un círculo con radio de 1.8m para dicha distribución asegurando el alcance a un tomacorriente en un radio de 1.8 metros a nivel de pared para los usuarios. Además, se incluyen salidas ubicadas en lugares requeridos por los propietarios del proyecto, así como las previstas para conexión de los puntos de acceso inalámbricos ubicados en cielos. La distribución de los equipos de telecomunicaciones fue ubicada en planos según lo solicitado en el alcance realizado con los propietarios, pero no se incluye diseño de los equipos ni se incluyen en ninguno de los costeos equipo o infraestructura relacionada con telecomunicaciones, control de acceso y robo o circuitos cerrados de comunicación. Las salidas especiales y salidas fijas que requerirán de herramientas para hacer el movimiento de los equipos son ubicadas en los sitios dispuestos en el alcance del proyecto.

Se considera para la instalación tomacorrientes de 15 amperios estimando un consumo de 180 VA de potencia para cada uno de los receptáculos. Por lo que se parametriza la memoria de cálculo de la siguiente manera para cada uno de los circuitos ramales.

Cada una de las salidas requeridas se multiplica por los 180 watts para determinar la potencia del circuito ramal que se dimensione, de igual forma aplica para cualquier circuito ramal que se calcule, sea iluminación o una salida especial. Donde su valor de placa será el reemplazado en dicha casilla. Como se identifica en la tabla #8 las cantidades de voltio amperios (VA) serán equivalente a unidades de potencia Watt (W) esto debido a que la naturaleza del proyecto permite omitir el factor potencia de los cálculos por la poca presencia casi nula de embobinados.

Para el cálculo del total de voltio-amperios se sigue la siguiente fórmula:

Ecuación 15 Potencia máxima del circuito ramal

$$P_{Ramal} = \# \text{ de salidas} \times 180VA$$

Fuente: (Propia)

Tabla 8 Circuito Ramal

Tomacorrientes Generales	Salida	6	Caídas	Conductor	12
	Watts	180	I (A)	9	
	Total watts	1080	L (m)(ft)	13,75	45,11
	Corriente	9	R (ohm/k pies)	2,05	
	Voltaje	120		1,39%	
	VOLTIOS		1,66		
	% Caída		1,39		

Fuente: (Propia)

No excediendo la cantidad de 8 salidas establecido para no sobrepasar los 1500 VA por cada uno de los circuitos ramales correspondientes a salidas de tomacorrientes. Referirse a la memoria de cálculo adjunta en los anexos para cada uno de los cálculos individuales de dichos circuitos.

Ecuación 16 Cantidad de salidas por circuito ramal

$$\#Salidas = \frac{1500VA}{180VA} = 8.33$$

Fuente: (Propia)

Como se establece en el NEC es importante respetar la caída de tensión de no más del 5% en todo el sistema eléctrico desde la acometida brindada por el proveedor local, por lo que se establece no superar la caída de tensión en los circuitos ramales en un 2%. Como se demuestra en el ejemplo de la tabla #8 donde se aplica la siguiente fórmula de la ecuación #3 del marco referencial:

Ecuación 17 Cálculo de caída de tensión

$$C.T. = \frac{2 \times (2.05) \times (45,83) \times (6)}{1000}$$

$$C.T. = 1,13V$$

$$\% \text{Caída de tensión} = \frac{1,13}{120} \times 100 = 0,94\%$$

Fuente: (Propia)

Cálculo de corriente;

Ecuación 18 Cálculo de corriente

$$I(A) = \frac{P(W)}{V(V)}$$

$$\frac{1080 (W)}{120 (V)} = 9(A)$$

Fuente: (Propia)

Por lo tanto, se respetará el calibre mínimo del conductor que es el #12 para circuitos ramales con la cantidad de receptáculos no mayor a 8, además su protección contra sobre corriente será de 20 A.

Para los circuitos ramales de salidas especiales, se utiliza el mismo cálculo respectivo a su consumo y total distancia del circuito desde su ubicación hasta el tablero respectivo, considerando las alturas correspondientes por donde viajará el circuito de igual manera para determinar el calibre del conductor a utilizar y su respectiva protección contra sobre corriente.

Para el calibre de los conductores es primordial definir la caída de tensión y la corriente de consumo del circuito ramal, para hacer uso de la tabla 310.16 del NEC, la información de la columna correspondiente a temperatura de 75°C será la aplicable en este diseño. De igual manera la canalización a utilizar será definida con la sumatoria del área transversal de todos los conductores a canalizar de no exceder el 40% del área transversal del material utilizado. Para la cual se aplica el siguiente cálculo.

Tabla 9 Cálculo de canalización conductor #12

# Conductores	Conductor	Area Transversal	
3	12	8,581	25,743
Sumatoria (mm ²)			25,743

Área transversal EMT 13mm (mm ²)	40%
196	78,4

Fuente: (Propia)

Ecuación 19 Área total de conductores

$$A_{Total\ conductores} = Cant.\ Conductores \times A_{Transversal}$$

$$3 \times 8,581 mm^2 = 25,74 mm^2$$

Fuente: (Propia)

Si el área transversal de la tubería EMT en 13mm según la referencia tabulada en el NEC es de 196 mm², y el 40% de esa área transversal es de 78,4 mm² se cumple que:

$$25,74 mm^2 < 78,4 mm^2$$

Por lo tanto, es admisible para los circuitos ramales con tres hilos #12, se utilice tubería de 13mm. Y se demuestra en el siguiente cálculo de igual manera para los circuitos ramales con tres conductores #10 que es admisible utilizar canalización EMT en 13mm.

Tabla 10 Cálculo de canalización conductor #10

# Conductores	Conductor	Area Transversal	
3	10	13,61	40,83
0	Vacío	0	0
0	Vacío	0	0
Sumatoria (mm ²)			40,83

Área transversal EMT 13mm (mm ²)	40%
196	78,4

Fuente: (Propia)

Donde se cumple que:

$$40,83 mm^2 < 78,4 mm^2$$

El otro caso típico en el diseño aplicado es para circuitos con dos conductores de fase y neutro #8, y el conductor de tierra donde su calibre se determina según la protección de sobre corriente dimensionada para proteger el conductor que en este caso al ser el cableado de las fases con calibre #8 será un dispositivo de protección de cuarenta amperios, por lo que se deberá asignar el calibre #10 para el conductor de tierra. Por lo que se demuestra que se deberá utilizar canalización de 19mm para esta configuración, según los siguientes valores calculados.

Tabla 11 Cálculo canalización conductor #8

# Conductores	Conductor	Area Transversal	
3	8	23,61	70,83
1	10	13,61	13,61
0	Vacío	0	0
Sumatoria (mm ²)			84,44

Área transversal EMT 19mm (mm2)	40%
343	137,2

Fuente: (Propia)

Por lo tanto,

$$84,44 \text{ mm}^2 < 137,2 \text{ mm}^2$$

Para la selección del dispositivo de protección contra sobre corriente, es importante destacar que dicho dispositivo protege el cable del circuito ramal para evitar el sobrecalentamiento de las líneas instaladas, por lo que realizar los cálculos adecuados es vital para la seguridad e integridad de los usuarios del sistema eléctrico y de las instalaciones a su vez. Por lo que se determina según los calibres seleccionados en los procedimientos anteriores y aplicados al dimensionamiento de los circuitos ramales se seleccionan los siguientes dispositivos según tabla 210.24 del NEC.

Tabla 12 Selección de protección contra sobre corriente

Protección contra sobrecorriente	Calibre de conductor
20 Amperios	12
30 Amperios	10
40 Amperios	8

Fuente: (Propia)

Iluminación

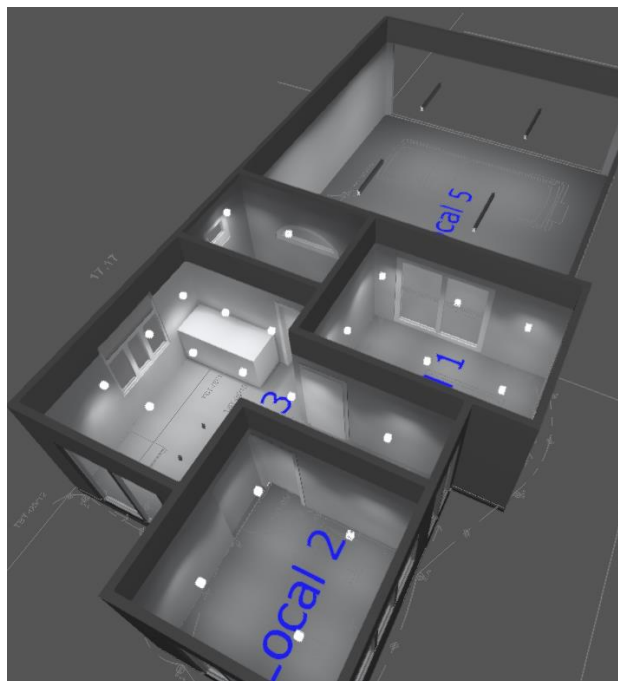
En el complejo turístico se destaca la importancia de encontrar ambientes de relajación, así como también es importante buscar la seguridad y la comodidad en lugares de trabajo como las pequeñas oficinas y lugares para la preparación de alimentos donde se acude a la normativa INTE/ISO 8995-1:2016 para lograr aplicar en los ambientes específicos indicados para interiores. Por lo que para lograr de una manera efectiva la cantidad de luxes necesarios para cada tarea, el uso del software Dialux se convierte en una herramienta fundamental para el dimensionamiento de la iluminación del complejo turístico, creando distintos escenarios para el desarrollo del diseño mostrando la mejor distribución de las luminarias con el mejor efecto de iluminación y además la verificación del cumplimiento de la norma, donde se podrá sacar mejor provecho y eficiencia a los amplios catálogos que ofrecen los distintos proveedores y fabricantes de luminarias.

Para los exteriores, no existe una norma como tal aplicada al país, internacionalmente existen algunas normas que se pueden tropicalizar o adaptar a las condiciones naturales de la región y son aplicables especialmente en carreteras o vías de tránsito público, para efectos de este diseño solamente se tomó en cuenta las necesidades de los usuarios y se dimensionó según la óptica brindada por las simulaciones efectuadas en Dialux.

Por ejemplo para el edificio “Villa #1” se proponen luminarias marca TecnoLITE con la ventaja de contar los archivos .IES que son los elementos que brinda cada uno de los proveedores de iluminación para la simulación de iluminación con las características correspondientes de fabricación.

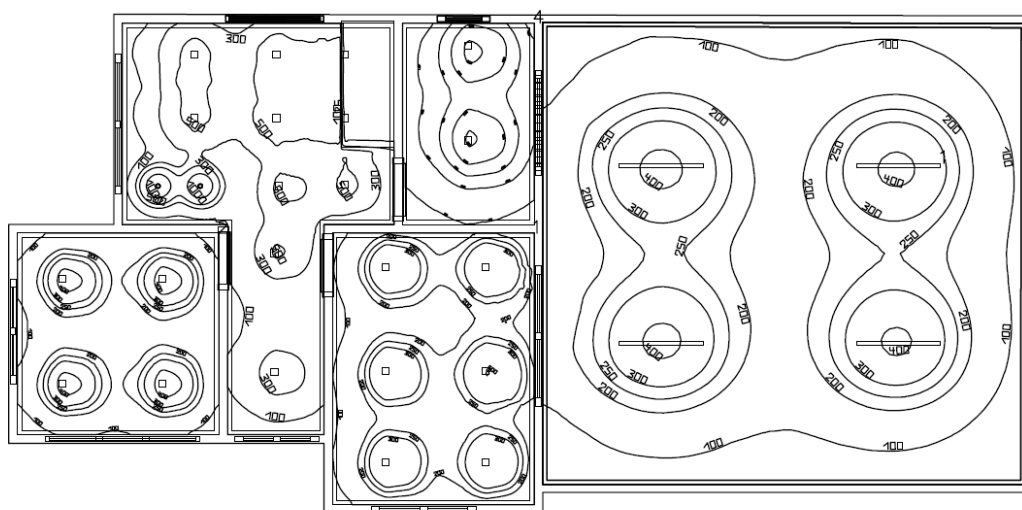
El software permite conocer también la temperatura de la luz a utilizar para lograr ambientes confortables y seguros para el ser humano. Se efectuó la simulación de los edificios principales donde es frecuente la estancia de las personas. Un análisis de los gráficos exportados del software determina si para las respectivas zonas y su aplicación ya sea una cocina o un lugar de descanso, corresponde a lo especificado por la normativa.

Figura 10 Simulación de iluminación Villa 1



Fuente: (Propia)

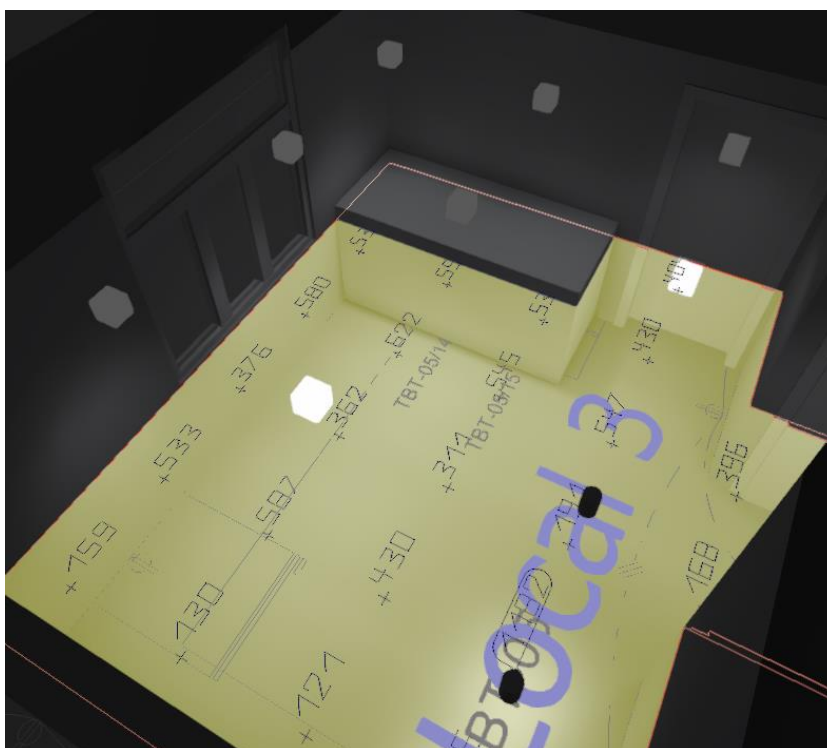
Figura 11 Diagrama isolíneas de iluminación Villa 1



Fuente: (Propia)

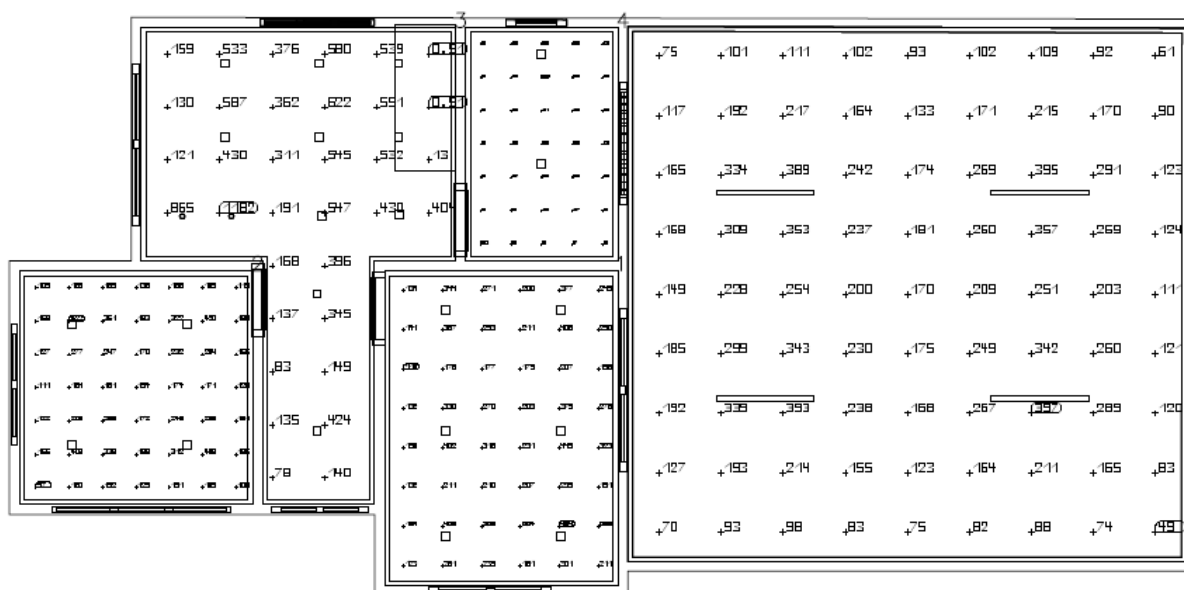
Para la figura 11 correspondiente al edificio “Villa 1” la normativa indica en la tabla adjunta en apéndice 11 para las cocinas se debe cumplir con 500 lux en el área de cocina, para sus entornos inmediatos especifica según tabla #5 del marco referencial, corresponderá a 300 lux. Por lo tanto, la norma y diseño se cumple según cada uno de los tipos de interiores. Para cada uno de los edificios se realizó un gráfico de isolíneas y además un gráfico de valores de luxes. Se estableció el parámetro en el sistema de simulación para el análisis fotométrico a una altura de 80cm sobre nivel de piso terminado, altura adecuada para el estudio ya que las actividades efectuadas por el ser humano en interiores se realizan a una altura aproximada de un metro.

Figura 12 Altura de análisis fotométrico



Fuente: (propia)

Figura 13 Gráfico numérico de luxes h: 0.80m S.N.P.T



Fuente: (Propia)

Al tener la cantidad de luminarias por edificio es posible dimensionar los circuitos ramales correspondientes y efectuar los cálculos de la misma manera con la tabla de cálculo para luminarias.

Tabla 13 Cálculo de circuito ramal iluminación

Iluminación General 2	Salida	21	Caídas	Conductor	12	Luminarias #	Cantidad	Watts	Total
	Watts	*	I (A)	1,685		1	2	39,1	78,2
	Total watts	202,2	L (m)(ft)	31,35	102,85	2	6	6,8	40,8
	Corriente	1,685	R (ohm/k pies)	2,05		3	1	6,4	6,4
	Voltaje	120	0	0,59%		4	12	6,4	76,8
	VOLTIOS		0,71			0	0	0	0
	% Caída		0,59			0	0	0	0
						21			202,2

Fuente: (propia)

Donde de la misma manera se podrá dimensionar el circuito ramal, con la sumatoria de la potencia de cada una de las luminarias y realizando los mismos cálculos aplicados anteriormente.

A manera de resumen los cálculos efectuados en uno de los tableros para una edificación o zona en específico aplicando los cálculos y artículos descritos anteriormente y referenciados en el marco teórico del documento, se resumen a modo de ejemplo para el tablero de zonas comunes de la siguiente manera:

Tabla 14 Resumen de circuitos ramales tablero área común

Tabla resumen tablero TAC Área Común	VA	% Caída de tensión	Conductor de fase	Conductor de Tierra	Amp	Polos
Cocina (Prevista)	5000	1,41%	10	10	30	2
Vitrina (prevista)	1200	1,26%	12	12	20	1
Tomacorrientes Microhondas	1500	1,11%	12	12	20	1
Tomacorrientes Salón General 1	900	1,41%	12	12	20	1
Tomacorrientes Salón General 3	720	1,26%	12	12	20	1
Tomacorrientes Electrodomesticos cocina	360	0,30%	12	12	20	1
Tomacorrientes Pasillo	1080	1,36%	12	12	20	1
Iluminación Exterior Sección 1	500	1,83%	10	10	30	2
Iluminación Exterior Sección 3	250	0,43%	10	10	30	2
Iluminación Yoga Deck	103,5	0,89%	12	12	20	1
Iluminación Árboles Decorativa	64	0,29%	12	12	20	1
Postes de atenuación Iluminación	312	1,43%	12	12	20	1
Tomacorrientes Refrigerador Industrial Bebidas 1	1200	1,21%	12	12	20	1
Tomacorrientes Refrigerador Industrial Bebidas 2	1200	1,09%	12	12	20	1
Tomacorrientes Salón General 2	720	1,83%	12	12	20	1
Tomacorrientes Comedor	720	1,26%	12	12	20	1
Iluminación General 1	703,8	1,57%	10	10	30	1
Iluminación General 2	202,2	0,59%	12	12	20	1
Iluminación Exterior Sección 2	250	0,41%	10	10	30	2
Tomacorrientes Kiosko Piscina #1	900	1,34%	10	10	30	1
Tomacorrientes Kiosko piscina #2	900	1,92%	10	10	30	1
Tomacorrientes deck yoga	360	1,47%	10	10	30	1
Iluminacion Kioskos piscina	81,6	0,37%	12	12	20	1

Fuente: (Propia)

Los directorios de los demás tableros calculados con la metodología anterior se encuentran a detalle en la memoria de cálculo adjunta. Cada uno de los circuitos ramales calculados con el consumo en VA, el porcentaje de caída de tensión menor al 2% establecido, el conductor indicado para cada consumo de corriente calculada y su protección contra sobre corriente.

Al tener dimensionados los tableros el paso a seguir será el balanceo de todas las cargas anteriores, para cada una de las barras de los tableros se debe asignar la cantidad de cargas en VA

de una forma distribuida para evitar el sobrecalentamiento de solamente una fase en el tablero y de esta forma los conductores de la acometida del tablero trabajaran de una forma más eficiente asegurando la seguridad del sistema eléctrico. El presente diseño eléctrico es de un voltaje 120V/240V monofásico, los tableros serán con dos barras de carga con una fase de 120V cada una, es posible realizar la distribución de las cargas de una forma rápida, mediante la aplicación de una sencilla tabla para distribuir las cargas en este caso en las dos líneas.

Tabla 15 balanceo de cargas

Carga X Fase (VA)	
L1	L2
5850	
	5850
1500	
	1500
2520	
	2520
1380	
	5500
4148,8	
	253,8
0	
15398,8	15623,8

Fuente: (Propia)

La tabla anterior es un segmento del cálculo para cargas del tablero de la Villa #1 donde la sumatoria de las cargas muestra un balance adecuado. Además, en la tabla #16 se resumen las cargas de todos los tableros diseñados debidamente balanceados. Para corroborar cada una de las cargas se hace referencia a la memoria de cálculo adjunta.

Tabla 16 Cargas balanceadas de cada tablero

Tablero	L1 (VA)	L2 (VA)
TAC	12759,3	12467,8
TPCN	2880	2520
TV1	15398,8	15623,8
TV2	11364,2	11518,8
TV3	6957,6	6072
TV4	6777,6	6072
TBP	13304,6	13129
TLV	7000	6149,8
TBR	6074,4	6910

Fuente: (Propia)

Diseño de acometida

Una de las partes fundamentales del diseño eléctrico es el dimensionamiento de la acometida, además de contener vital importancia para el funcionamiento adecuado de todo el sistema eléctrico a instalar, es la parte del proyecto con un mayor costo de inversión, y esta se debe proyectar hacia el crecimiento del consumo de forma exponencial mientras crece el desarrollo de la actividad económica del proyecto.

Para el presente diseño se consideró solamente equipo monofásico para ser instalado, determinar el tipo de corriente que utilizará el proyecto en general es determinante para el desarrollo de todo el proyecto. Una limitante importante para el desarrollo de amplios proyectos monofásicos son los transformadores, ya que el límite para una carga demandada en transformadores comerciales es de 167 KVA, por lo que una carga superior a esta potencia se deberá redimensionar para transformadores de tres fases. La sumatoria de las cargas demandadas para todo el complejo, deberá ser menor a 167 KVA, donde influyen distintos factores como la cantidad de carga continua y los porcentajes de demanda que se apliquen en el diseño final de las cargas. Una limitante importante en este diseño es que en el sitio no cuenta con alimentación trifásica cerca del complejo turístico.

Cada uno de los edificios deberá ser analizado según su función en el proyecto, y se deberán utilizar los factores de demanda específicos para no sobredimensionar el proyecto o en tal caso que sea insuficiente la carga estimada para la operación necesaria, según la solicitud de los encargados del proyecto. A continuación, se efectuará el análisis detallado a implementar en el dimensionamiento de la acometida.

Cargas para zona común

Se considera en las zonas comunes los siguientes edificios con su área de construcción respectiva:

Tabla 17 Edificios Zona Común

Edificio	Área a construir (m2)	VA X m2
Salón Multiuso	144	22
Área de piscina	20	22
Deck de Yoga	56	22

Fuente: (Propia)

Se aplicará una cantidad de VA para el dimensionamiento de las cargas de iluminación y tomacorrientes generales de 22 voltio amperios por cada metro cuadrado de construcción como se detalla en la tabla 220.12 del NEC para clubes y restaurantes que son las dos características que cumplen los edificios seleccionados.

Al agregar los tomacorrientes necesarios para los electrodomésticos de cocina, equipos especiales con las cargas ya dimensionadas en los circuitos ramales, salidas fijas como los equipos utilizados para el funcionamiento de la piscina y la carga para la iluminación exterior. Se deberá aplicar un porcentaje de demanda de la carga total instalada para el edificio. Tomando en consideración las tablas 220.42, 220.44, 220.56 del NEC se deberá dimensionar para receptáculos, iluminación y equipos de cocina al 100% de la carga instalada. Para las salidas especiales se considera de igual manera el 100%, ya que su uso continuo no superará las 3 horas permanentes de carga.

Se considera el cálculo del motor más grande su carga calculada a un adicional del 25% por lo que se determina el motor más grande en este edificio como la bomba de agua de mayor consumo en la piscina y corresponde al siguiente cálculo:

Ecuación 20 Cálculo del motor más grande

$$Demanda\ de\ VA_{motor\ más\ grande} = VA \times 0.25\%$$

$$3200VA \times 0.25\% = 800VA$$

Fuente: (Propia)

Por lo tanto, si la carga demandada de las zonas comunes se dimensionará a un cien por ciento de la carga instalada se deberá adicionar el tres por ciento por la carga correspondiente al pico de arranque del motor más grande.

Cargas para las villas

Parte de la planificación proyectada para estos edificios es el alquiler general de las villas por períodos de tiempo prolongados para la residencia de turismo internacional como prioridad, por lo que se consideran las villas como unidades de vivienda. Esto por solicitud de los propietarios del proyecto por lo tanto se considera una carga por metro cuadrado de 33 voltio amperios.

Para las villas uno y dos, se aplica el cálculo de los componentes de cocción a un 80% de la carga instalada, según la tabla 220.55 Columna B. Para las cargas de aire acondicionado se considera el 100% del valor de placa.

En el caso de la villa #1 que tiene un cargador de vehículos eléctricos para un período de carga de 8 horas como máximo se deberá calcular como carga continua al 125% de su valor de carga nominal.

Los calentadores de agua utilizados el NEC permite calcular las salidas fijas según el artículo 220.53 calcular la carga demandada a un 75% de su carga total.

Cargas para edificio de lavandería

Para las cargas del cuarto de lavandería según la tabla 220.44 al no superar los 10 kVA, se deberá dimensionar al 100% las cargas para los receptáculos de lavandería y las secadoras según la tabla 220.54 al ser dos secadoras se deberá dimensionar igualmente al 100%. Por lo que para toda la carga se aplica un factor de demanda completo del 100%.

Cargas para edificio “Backpackers”

Este edificio está diseñado para el uso típico de un hotel, donde los viajeros podrán utilizar las áreas comunes y compartir habitación, por lo que se dimensionará con los siguientes porcentajes para la carga demandada.

Para la iluminación se establece un 50% de la carga calculada para 22 VA por metro cuadrado. Aplicando la tabla 220.44 se determina el 100% de la carga para receptáculos ya que no alcanza los 10kVA. Para el cálculo del calentador de agua se aplicará un factor de uso del 75% considerándolo como una unidad de vivienda, ya que corresponde a una zona costera por lo que es menos probable el uso del agua caliente. No se considera carga para la cocina ya que el propietario del proyecto desea reducir la carga eléctrica del lugar común utilizando cocción a base de gas con una cocina pequeña, ya que la distribución del lugar no se presta para la cocción avanzada.

Cargas para edificio recepción y caseta

Para este edificio se aplicó 39 VA por cada metro cuadrado para el dimensionamiento de la carga instalada en el edificio, considerando que será una oficina solo de verificación de información de los huéspedes que no tendrá un constante flujo de personas ni trabajo continuo diario. Pero se aplicará un 100% para la carga demandada.

En este edificio también se instalará un cargador de vehículos, y como es poco probable que ambos cargadores tengan coincidencia de uso se considera la carga total al 100%, la carga para aire acondicionado de la oficina se estima de igual manera al 100%.

Una vez finalizado el dimensionamiento de la carga demandada global del proyecto se procede al cálculo de las caídas de tensión y canalización necesaria para todos los tableros.

Tabla 18 Resumen de carga instalada y demandada

Tablero Principal	Carga Instalada	Carga demandada	Porcentaje de demanda
Área Común	28768	29568	103%
Villa #1	30236	26512,6	88%
Villa #2	20718	15981,3	77%
Villa #3	11238	9063	81%
Villa #4	11058	8883	80%
Lavandería	13786	13786	100%
Backpackers	24530	21387	87%
Recepción y caseta	12443	12443	100%
Carga total VA	152777	137623,9	

Fuente: (Propia)

Tabla 18 corresponde a los datos finales realizados por la metodología de cálculo anteriormente descrita. Para referencia de los cálculos ir a memoria de cálculo adjunta.

Caída de tensión, dimensionamiento de conductores y canalización

Para el cálculo de caída de tensión se utiliza la misma fórmula aplicada en el dimensionamiento de los circuitos ramales.

Tabla 19 Cálculo de caída de tensión sub-tableros

TAC acometida			Cobre	
			Conductor	3/0
Corriente	123	I (A)	123,2	
# de conductores	1	L (m)(ft)	100,43	329,49
		R (ohm/k pies)	0,0797	
Voltaje	240		2,70%	
Caída en Voltios Cobre		6,47		
TAC Neutro			Cobre	
	0	Caídas	Conductor	3/0
Corriente	131	I (A)	130,6166667	
# de conductores	1	L (m)(ft)	100,43	329,49
		R (ohm/k pies)	0,0797	
Voltaje	240	0	2,86%	
Caída en Voltios Cobre		6,86		

Fuente: (Propia)

Ecuación 21 Cálculo de caída de tensión tablero TAC

$$C.T. = \frac{2 \times (123,2) \times (329,49) \times (0,0797)}{1000}$$

$$C.T. = 6,47V$$

$$\% \text{Caída de tensión} = \frac{6,47V}{240V} = 0,027 \times 100 = 2,7\%$$

Fuente: (propia)

Cálculo de corriente;

$$I(A) = \frac{P(W)}{V(V)}$$

$$\frac{29568 (W)}{240 (V)} = 123,2(A)$$

Aplicando estas fórmulas a cada una de la potencia demandada de los tableros diseñados, se resume en la tabla 20 que será a su vez el diseño del tablero principal de distribución, además deberá cumplir con la tabla 310.16 para la corriente admisible para cada conductor.

Tabla 20 Resumen de conductores acometidas sub-tableros

TAC	Área Común	Conductor de fase	2#250MCM AWG RHH-2 (CU)
		Conductor de neutro	1#250 MCM AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	4 AWG RHH-2 CU
TV1	Villa #1	Conductor de fase	2#1/0 AWG RHH-2 (CU)
		Conductor de neutro	1#4 AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	1#6 AWG RHH-2 CU
TV2	Villa #2	Conductor de fase	2#1/0 AWG RHH-2 (CU)
		Conductor de neutro	1#1/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	1#6 AWG RHH-2 CU
TV3	Villa #3	Conductor de fase	2#1/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de neutro	1#1/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	1#6 AWG RHH-2 CU
TV4	Villa #4	Conductor de fase	2#2/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de neutro	1#1/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	4 AWG RHH-2 CU
TBP	Lavandería	Conductor de fase	2#3/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de neutro	1#2/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	1#2 AWG RHH-2 CU
TLV	Backpackers	Conductor de fase	2#250 MCM AWG RHH-2 CU
		Conductor de neutro	1#4/0 AWG RHH-2 CU
		Conductor de tierra	1#2 AWG RHH-2 CU
TBR	Recepción y caseta	Conductor de fase	2#6 AWG THHN CU
		Conductor de neutro	1#6 AWG THHN CU
		Conductor de tierra	1#8 AWG THHN CU

Fuente: (Propia)

Tabla 21 Resumen de protecciones contra sobre corriente para sub-tableros

Tablero principal	Protección	# Polos
Área Común	125	2
Villa #1	125	2
Villa #2	70	2
Villa #3	50	2
Villa #4	50	2
Lavandería	60	2
Backpackers	90	2
Recepción y caseta	60	2

Fuente: (Propia)

Canalizaciones

En la tabla 22 se resumen las canalizaciones calculadas con la misma metodología anterior del 40%

Tabla 22 Resumen de canalización sub-tableros

Tablero principal	Material	Medida (mm)
Área Común	PVC SCH 40	78
Villa #1	PVC SCH 40	53
Villa #2	PVC SCH 40	53
Villa #3	PVC SCH 40	53
Villa #4	PVC SCH 40	53
Lavandería	PVC SCH 40	78
Backpackers	PVC SCH 40	78
Recepción y caseta	EMT	19

Fuente: (Propia)

Tabla 23 Resumen de canalización tableros principales

Transformador	Material	Medida (mm)
TP1	PVC SCH 40	78
TP2	PVC SCH 41	78

Fuente: (Propia)

Transformador monofásico y protección principal contra sobre corriente

La carga total demandada del sistema eléctrico corresponde a 137,623 según la tabla 18, se encuentra dentro del rango de carga monofásica de fabricación comercial correspondería un transformador de 167 kVA.

Para el cálculo de la protección principal se puede dimensionar despejando la siguiente fórmula:

$$I(A) = \frac{P(VA)}{V(V)}$$

$$\frac{137623,9 (VA)}{240 (V)} = 573,42 (A)$$

Para monofásico no existen tableros de soportar corrientes por encima de los 400 amperios por lo que se deberá dividir la corriente en dos tableros principales con las cargas balanceadas.

Y el cálculo de la canalización en PVC CED 40 es el siguiente:

Tabla 24 Canalización acometida tableros principales

Cálculo de Canalizaciones TX-TP1 RHH			
# Conductores	Conductor	Area Transversal	
3	300 MCM	457,3	1371,9
1	2	112,9	112,9
Sumatoria (mm ²)			1484,8

Área transversal PVC SCH40 78mm/3 in (mm2)	40%
4693	1877,2

Cálculo de Canalizaciones TX-TP2 RHH			
# Conductores	Conductor	Area Transversal	
3	350 MCM	507,7	1523,1
1	2	112,9	112,9
Sumatoria (mm ²)			1636

Área transversal PVC SCH40 78mm/3 in (mm2)	40%
4693	1877,2

Fuente: (Propia)

Por lo tanto, la tubería seleccionada es de 78 milímetros o 3 pulgadas para cada uno de los tableros principales.

Sistema solar fotovoltaico conectado a la red

Se busca realizar el diseño solar fotovoltaico que brinde una solución óptima de funcionamiento y que además genere un rendimiento económico aceptable para su factibilidad de implementación, por lo que el diseño se concentrará en un análisis detallado de cargas y una proyección de costos que permita determinar la viabilidad de esta metodología de generación.

Por el tipo de proyecto, la localización y la cantidad de carga que será demandada es atractivo para realizar una instalación de autoconsumo que permita generar ahorros y además sea amigable con el medio ambiente y brinde un atractivo adicional que beneficie con la venta de los servicios.

Consumo proyectado diario

Una estimación del consumo diario de kWh totales en un día permitirá realizar una proyección necesaria para el dimensionamiento del sistema y su impacto económico.

Para realizar dicha proyección se aplica el criterio experto del hotelero en conjunto con la asesoría técnica eléctrica para establecer un escenario de consumo crítico para el complejo con el objetivo de determinar los horarios de demanda y ser comparados con los horarios de generación y de esta manera establecer la cantidad de energía que se subirá a la red, para más adelante determinar las cantidades disponibles para la descarga. Por lo tanto, para el cálculo de los kWh a utilizar en el análisis, se utiliza la siguiente metodología de cálculo:

$$Wh = Watts_{Valor\ de\ placa} \times Hrs_{Proyección\ de\ uso}$$

Según la ecuación anterior tomando el valor de placa de cada uno de los equipos y circuitos ramales diseñados, también denominada carga instalada, se multiplica por la cantidad de horas que se estimen se va a utilizar en carga máxima cada uno de los circuitos ramales.

Tabla 25 Cálculo proyección de consumo

Descripción de carga	Carga (VA)	Horas	Wh
Calentador de agua	8700	0,5	4350
AC Hab#1	1500	6	9000
Tomacorrientes Hab #1	1440	0,5	720
Tomacorrientes Generales	1080	0,5	540
Tomacorrientes Refrigerador	1200	6	7200
Tomacorriente Microhondas	1500	0,5	750
Iluminación 1 (Hab #2/Cocina Comedor)	148,8	4	595,2
Tomacorriente Cocina	3000	0,75	2250
AC Hab#2	1500	6	9000
Tomacorrientes Hab #2	1080	2	2160
Tomacorrientes Externos	1440	0,3	432
Tomacorriente Electrodomesticos	180	1	180
Cargador automóvil eléctrico	8000	6	48000
Iluminación 2 (Hab 12/Baño/Parqueo/eexterior)	253,8	2	507,6
Total	31022,6		85684,8

Fuente: (Propia)

Al tener los Wh proyectados a utilizar en carga máxima durante 24 horas se deberá distribuir dicha carga, aplicando de igual manera el criterio experto hotelero del interesado final del diseño, donde se estima será distribuida dicha carga como se demuestra en la tabla 26.

Tabla 26 Distribución de carga horaria

Wh	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4350	0	0	0	0	0	2175	2175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9000		0	0	0	0	0	250	250	500	750	1000	1000	1000	1000	1000	500	500	250	250	250	250	250	0	0
720								90		90	90	90					90	90	90	90				
540							45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45						
7200	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
750						187,5	0					187,5			187,5			187,5						
595,2																		85	85	85	85	85	85	85
2250							375	375				375	375					375	375					
9000		0	0	0	0	0	250	250	500	750	1000	1000	1000	1000	1000	500	500	250	250	250	250	250	0	0
2160								270		270	270	270					270	270	270	270				
432							36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36							
180						30	30				30	30						30	30					
48000															8000	8000	8000	8000	8000	8000				
507,6																		72,51	72,51	72,51	72,51	72,51	72,51	72,51
85684,8	300	300	300	300	300	2692,5	3461	1616	1381	2241	2771	3333,5	2756	2381	10568,5	9381	9741	9991,01	9722,51	9317,51	957,51	957,51	457,51	457,51
85,6848	1%	1%	1%	1%	1%	9%	11%	5%	4%	7%	9%	11%	9%	8%	34%	30%	31%	32%	31%	30%	3%	3%	1%	1%

Fuente: (Propia)

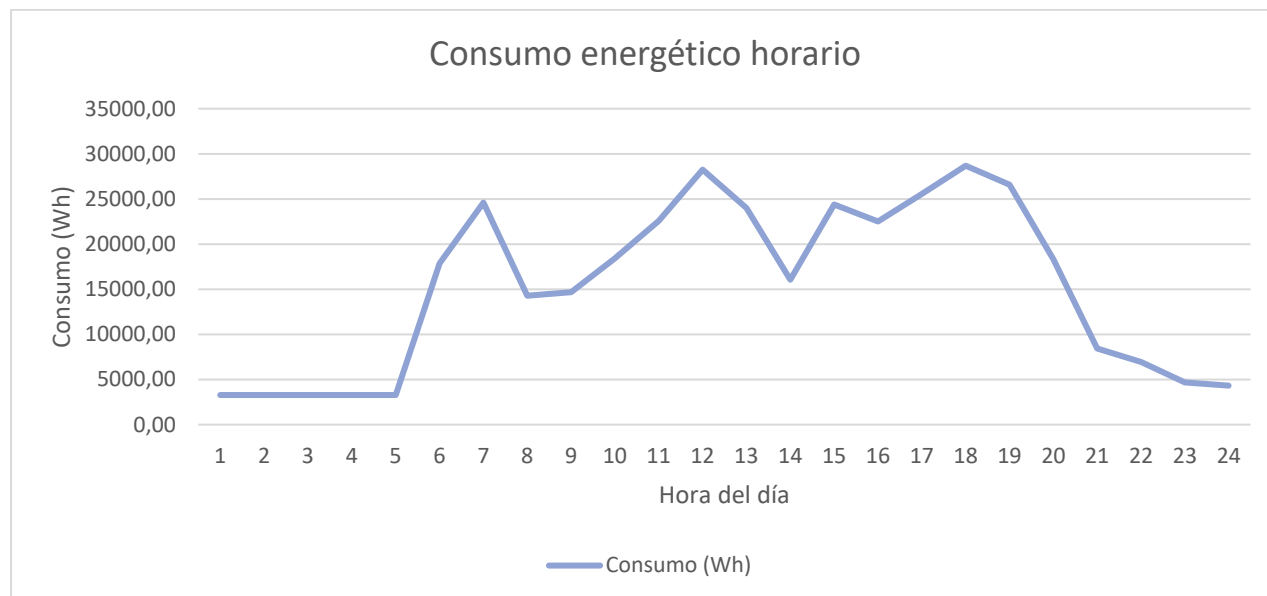
La primera carga de la tabla de 4350 Wh corresponde al calentador de agua, donde se estima será utilizado durante las horas 6 y 7 a una demanda del 50% de su valor máximo, estableciendo de esta manera el peor de los escenarios de consumo distribuido en las horas más probables de uso. Este procedimiento se repite con cada una de las cargas y con cada uno de los

edificios para finalmente obtener la proyección de consumo horaria de todo el complejo en su totalidad. Aplicando distintos porcentajes de demanda según sea la carga y según su aplicación tomando en cuenta distintos factores como la ubicación geográfica, clima característico y temperatura ambiente, proyección de visita y capacidad instalada del complejo turístico se obtiene la distribución esperada. En la tabla #27 se observa y resume los resultados por hora de consumo del complejo en general, donde se resume el consumo proyectado para cada una de las horas del día. Información relevante para realizar el cálculo económico y el dimensionamiento adecuado para lograr un diseño justo donde la producción de energía sea la necesaria para el autoconsumo y además se genere una remuneración económica por el excedente subido a la red del proveedor de energía, pero que por motivos de legislación y reglamento nacional la producción de energía no brinda la rentabilidad esperada si se instala infraestructura fotovoltaica sobredimensionada, en palabras más sencillas la sobreproducción de energía será desperdiciada por lo que un diseño justo es necesario para lograr un rendimiento económico ajustado al peor de los escenarios de demanda del complejo, que incluye la demanda esperada más elevada y el mes de menor producción de energía fotovoltaica.

Tabla 27 proyección de consumo por hora para el complejo

Hora del día	Consumo (Wh)
1	3281,08
2	3281,08
3	3281,08
4	3281,08
5	3281,08
6	17852,75
7	24607,25
8	14293,08
9	14664,08
10	18424,58
11	22571,25
12	28233,75
13	24004,58
14	16059,08
15	24389,08
16	22514,08
17	25561,25
18	28682,51
19	26598,34
20	18327,34
21	8443,34
22	6943,34
23	4669,64
24	4321,64

Fuente: (Propia)

Gráfica 1 Consumo energético horario

Fuente: (Propia)

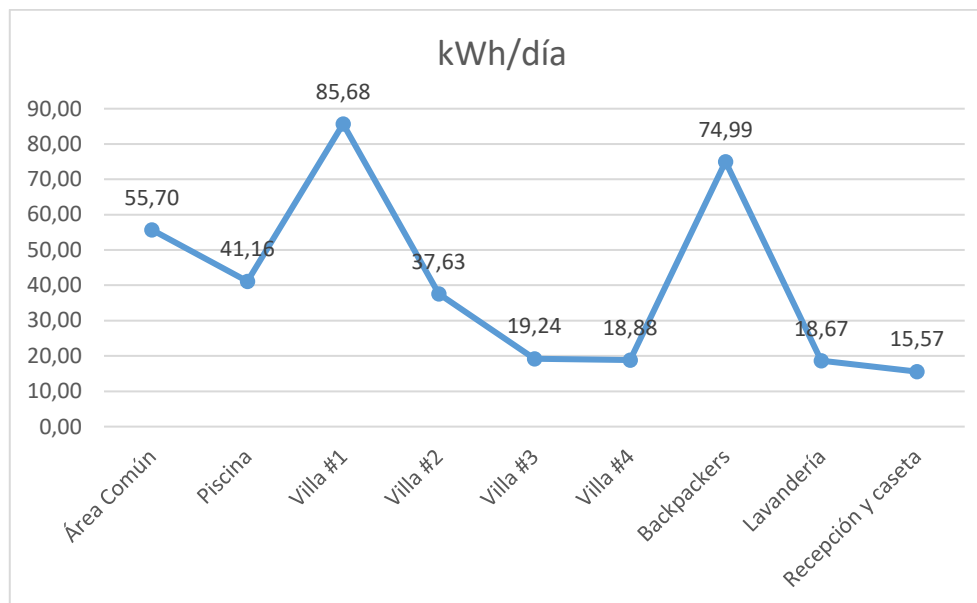
En la gráfica 1 de una forma visual se expone consumo de energía en cada una de las horas del día, por lo que los picos de consumo se mantienen dentro de los horarios habituales de preparación de alimentos que son rangos de 3 horas aproximadamente y al finalizar la rutina al caer la noche fuera del lugar turístico y los usuarios se disponen a descansar y utilizar las instalaciones con una demanda que irá descendiendo hasta la hora 24.

La tabla 29 corresponde al resumen de kWh/día estimado para todo el complejo turístico.

Tabla 28 Resumen de kWh/día estimado por edificio

Edificio	kWh/día
Área Común	55,70
Piscina	41,16
Villa #1	85,68
Villa #2	37,63
Villa #3	19,24
Villa #4	18,88
Backpackers	74,99
Lavandería	18,67
Recepción y caseta	15,57
Total	367,55

Fuente: (Propia)

Gráfica 2 Proyección de consumo diario por edificio

Fuente: (Propia)

Como es evidente en el gráfico #2 los edificios con mayor consumo de energía, son la Villa #1 debido al cargador de vehículos eléctricos que realizará la carga de un vehículo en no más de 8 horas, por lo que se estima que se realice un carga continua, de igual forma es instalado un segundo cargador solar que de momento será solamente previsto en el proyecto por lo que solamente se contempla la actividad de uno de ellos, ya que por la lejanía del lugar y la tendencia de vehículos eléctricos en el país aún es poco probable que sea recurrente el uso de ambos cargadores, y de ser considerado en el estudio de carga para el dimensionamiento de los paneles solares, al ser uno de los equipos de mayor demanda de energía, sobredimensionaría drásticamente el sistema fotovoltaico por lo tanto se considera solamente uno de ellos. El segundo edificio con mayor demanda es el sitio de “backpackers” que corresponderá a la zona con mayor recurrencia de personas, ya que es una zona común para la convivencia donde actividades como la preparación de comida, aseo personal y entretenimiento son considerados en la proyección de consumo.

Una vez estimado el total de demanda de energía diario permitirá realizar el cálculo de la cantidad de paneles solares que serán requeridos para abastecer el complejo en un día, durante el peor mes de luz solar.

Condiciones de radiación solar

La información necesaria de radiación solar fue brindada por el instituto meteorológico nacional para una de las zonas más cercanas al proyecto que mantuviera las mismas condiciones atmosféricas del sitio en análisis.

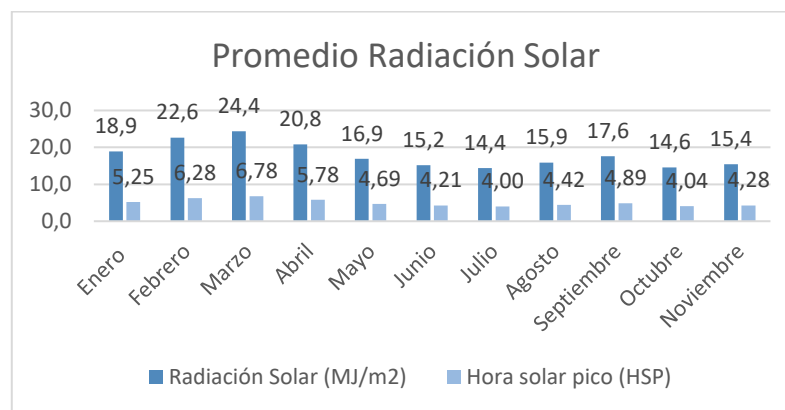
En primera instancia se analizaron los meses que fueran más favorables para la generación de energía y el peor mes para lograr un panorama de comportamiento de la radiación solar, ya que es la principal fuente de energía que será aprovechada por el sistema fotovoltaico.

Tabla 29 promedio de radiación solar

Promedio de radiación solar en la estación meteorológica Finca Damas Zona Sur, Período Mayo 2017 a Agosto 2019		
Mes	Radiación Solar	Hora solar pico
	(MJ/m2)	(HSP)
Enero	18,9	5,25
Febrero	22,6	6,28
Marzo	24,4	6,78
Abril	20,8	5,78
Mayo	16,9	4,69
Junio	15,2	4,21
Julio	14,4	4,00
Agosto	15,9	4,42
Septiembre	17,6	4,89
Octubre	14,6	4,04
Noviembre	15,4	4,28
Diciembre	18,2	5,06

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, s f.).

Gráfica 3 promedio de radiación solar



Fuente: (Propia)

En el gráfico tres, es notable el menor índice de radiación para el mes de julio y la mayor radiación para el mes de marzo.

Mediante la ecuación 7 es posible calcular la hora solar pico para cada uno de los meses. Por ejemplo, para el cálculo de los dos meses en los extremos se efectúa el siguiente cálculo:

Para marzo,

$$\frac{24,4MJ}{m^2} \times \frac{1 HSP}{3,6MJ/m^2} = 6,78 HSP$$

Para julio,

$$\frac{14,4MJ}{m^2} \times \frac{1 HSP}{3,6MJ/m^2} = 4 HSP$$

Por lo que para el cálculo de la cantidad de módulos de generación fotovoltaica, se utilizará el peor mes (julio) con 4 HSP con el objetivo de lograr un excedente en los siguientes meses y sea reconocido por el proveedor de electricidad según lo establecido en el reglamento de cogeneración distribuida expuesta en el marco referencial.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Con los datos seleccionados de hora solar pico y la demanda en kWh/día, es posible conocer la cantidad de paneles solares necesarios para abastecer el complejo en el peor de los casos, y el mejor de los escenarios producirá la energía necesaria para ser cargada a la red y posteriormente tener un beneficio económico. Inicialmente se determinará la marca y modelo del panel a utilizar, que es en este caso será Jinko Solar, modelo JKM330P-60, cuya ficha técnica se anexa a este documento. Con toda la información se calcula la cantidad de paneles con la ecuación 17, y su resultado es el siguiente:

$$\frac{368,16 \left(\frac{Wh}{día}\right)}{330(W) \times HSP \times (0,85)} = 328 \text{ paneles}$$

La cantidad dimensionada para abastecer el complejo con las condiciones más desfavorables y con la mayor demanda de energía proyectada es de 328 paneles solares. Con base

a este dato es posible realizar los siguientes cálculos para establecer cuál será la proyección de ahorro y factibilidad económica del proyecto en desarrollo.

Cantidad de inversores

Se debe realizar el cálculo de cuanto es la generación de potencia pico para la cantidad de paneles solares calcula por que el cálculo es el siguiente:

$$P_{pico} = 328 \text{ paneles} \times 330W = 108240 \text{ watts}$$

Para seleccionar un conjunto de inversores adecuado se toma el inversor Fronius de 8200 watts, ya que es el inversor con más potencia en configuración monofásica. La cantidad de inversores la definiría la siguiente ecuación:

$$\frac{108240W}{8200W} = 13.2$$

Por lo tanto, se dispondrá de 14 inversores para el sistema fotovoltaico.

Cálculo conexión en serie y en paralelo

Como se puede apreciar en las fichas técnicas de los equipos ubicadas en los apéndices 13 y 14 respectivamente para los paneles solares e inversores a utilizar, obtenemos la información útil para determinar que para lograr aprovechar la mayor cantidad de potencia emitida por los paneles solares se deberá calcular una potencia de entrada del 8200 W por tanto,

$$\frac{8200W}{18A} = 455V$$

Los 18 A es el máximo amperaje que resisten los inversores por lo que para lograr una entrada de 8200W de potencia se deberá utilizar el voltaje de 455V para el cálculo de mayor

cantidad de módulos en serie, como la producción de cada panel es de 37.8V se cumple lo siguiente:

$$\frac{455V}{37.8V} = 12$$

Por lo tanto, se podrán colocar solamente 12 paneles en serie por cada inversor, además al panel producir una corriente de 8.74 A, se podrá utilizar dos columnas de 12 paneles en serie, justificando el número con la siguiente ecuación:

$$\frac{18A}{8.74A} = 2.05$$

A su vez para completar la cantidad de paneles se establece la nueva cantidad de paneles a instalar:

Cantidad de paneles por inversor = 24

Cantidad de inversores = 14

$$24 \times 14 = 336 \text{ Paneles}$$

Angulo de inclinación

Si la instalación de los módulos se hace de manera fija mediante rieles se admitirán desviaciones de 10 grados respecto a la latitud.

$$Im = / \Phi / + 10^{\circ}$$

Donde:

Im: Es la inclinación máxima en grados

Φ: Es la latitud del lugar de la instalación.

$$Im = /9^{\circ} / + 10^{\circ} = 19^{\circ} \approx 20^{\circ}$$

El sol varía su ubicación según la estación del año es por esta razón y por tanto no siempre recibirán la misma radiación. La inclinación óptima demostrada en el anterior cálculo es de 20° hacia el sur debido a que Costa Rica se ubica en el hemisferio norte y es donde se contempla el sol hacia el sur durante más días al año.

Cálculo de conductores y protecciones de sobretensión

Para la sección DC se contemplará la corriente de un solo panel que es 8.74, y como se referencio en la sección teórica de la investigación se deberá aplicar el 25% adicional:

$$I_{\text{circuito DC}} = I_{\text{max panel}} * 1,25$$

$$I_{\text{circuito DC}} = 8,74 \text{ A} * 1,25 = 10,93 \text{ A}$$

Para 25 amperios la tabla 310.16 del NEC establece el uso de cable 12 AWG RHH debido a la exposición a exterior.

Para la sección AC se contemplará la salida del inversor que será 35.7 A por el 25% adicional según los establece (National Fire Protection Association, 2014) y como se indicó en el marco referencial.

$$I_{\text{Circuito AC}} = I_{\text{max inversor}} * 1.25$$

$$I_{\text{Circuito AC}} = 35.7 \text{ A} * 1.25 = 44.625 \text{ A}$$

Para 50 amperios la tabla 310.16 del NEC establece el uso de cable 8 AWG RHH debido a la exposición a exterior.

Protecciones de sobre tensión DC

Para la protección en DC se utiliza el artículo 240.6 A por tanto corresponde un fusible de 15 A.

Protecciones sobre tensión AC

Para la protección en DC se utiliza el artículo 240.6 A por tanto corresponde un fusible de 50 A.

mucho más detallado. Estos valores darán como resultado la cantidad de energía que se suba a la red mensualmente, y que luego al siguiente mes sea posible descargar con un costo preferencial de 28.29 colones. De igual manera, este análisis permitirá conocer la cantidad de kWh que se requiera de la red del proveedor de energía, que esto será lo que defina la facturación como más adelante se analizará a detalle.

Al realizar una sumatoria de la demanda de energía que deba ser suplida por la red, el resultado mensual será lo que establezca el método de facturación, que en este caso por la ubicación geográfica corresponde al Instituto Costarricense de Electricidad, donde en el documento informativo de tarifas actuales referenciado en el apéndice 12, establecen que para la actividad económica del complejo turístico será establecida la tarifa comercial, donde existen dos modelos de cálculo según la demanda de energía. Como la demanda a descargar de la red después de utilizar el autoconsumo en horarios donde el sistema fotovoltaico no es eficiente o no existe radiación solar en su totalidad, por ejemplo en horas nocturnas, la demanda hacia la red para todos los meses es superior a los de 3000 kWh mensuales, se aplicará un cargo por potencia extra como base en la facturación. Este es uno de los puntos clave del diseño de sistemas fotovoltaicos, a nivel financiero la mayor rentabilidad sería demandar menos de los 3000 kWh, ya que solo para la demanda del proyecto sería un total de cobro base por potencia de ₡ 1 705 815, 24. Pero por la demanda en horas donde el sistema no suple el autoconsumo siempre estará por encima de los 3000 kWh mensuales, por lo que el pago por potencia se mantendrá vigente, inclusive aumentando la cantidad de paneles solares, ya que el sistema depende de la radiación solar y existirán horas donde la producción será negativa, además que la inversión inicial del proyecto sería muy elevada y el área a cubrir no sería viable para su implementación.

Se demuestra en las siguientes tablas 30 y 31 las proyecciones de facturación basadas en la metodología de cálculos del ICE, la instalación muestra un ahorro en la facturación anual de ₡6 354 292.76 dicho ahorro se tomará en cuenta para el análisis de VAN y TIR.

Tabla 30 proyección de facturación anual para el complejo

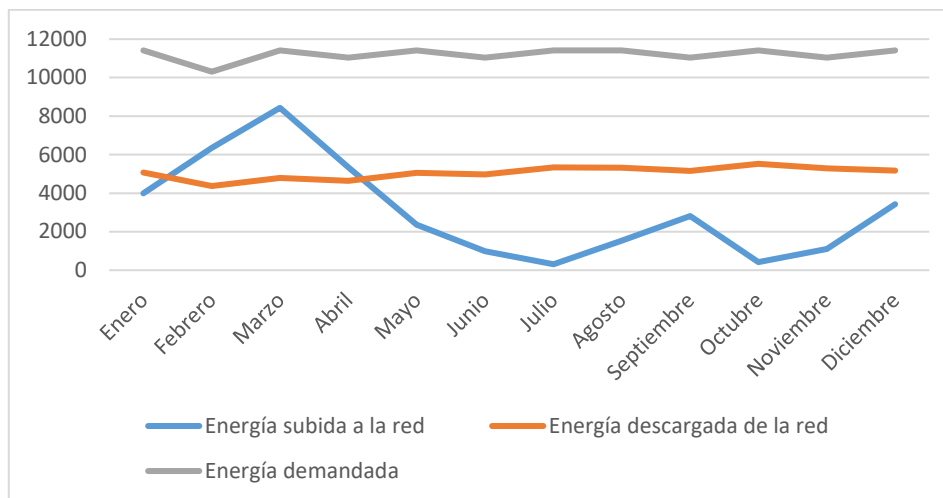
Precio Base	Precio por KWh	Total
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 769 694,64	₡ 2 475 509,88
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 824 672,83	₡ 2 530 488,07
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 824 672,83	₡ 2 530 488,07
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 824 672,83	₡ 2 530 488,07
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 824 672,83	₡ 2 530 488,07
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 1 705 815,24	₡ 824 672,83	₡ 2 530 488,07
₡ 1 705 815,24	₡ 852 161,93	₡ 2 557 977,17
₡ 20 469 782,88	₡ 10 033 519,46	₡ 30 503 302,34

Fuente: (Propia)

Tabla 31 Proyección de facturación anual con sistema de generación fotovoltaico

Precio Base	Precio por KWh STD	Precio por KWh Pref	Total
₡ 1 705 815,24	₡ 376 811,42	₡ -	₡ 2 082 626,66
₡ 1 705 815,24	₡ 177 239,56	₡ 55 601,73	₡ 1 938 656,54
₡ 1 705 815,24	₡ 122 450,09	₡ 88 252,70	₡ 1 916 518,03
₡ 1 705 815,24	₡ 34 750,39	₡ 117 154,21	₡ 1 857 719,84
₡ 1 705 815,24	₡ 177 663,12	₡ 74 324,24	₡ 1 957 802,60
₡ 1 705 815,24	₡ 281 217,89	₡ 33 034,79	₡ 2 020 067,92
₡ 1 705 815,24	₡ 357 788,99	₡ 13 810,45	₡ 2 077 414,69
₡ 1 705 815,24	₡ 382 931,68	₡ 4 554,92	₡ 2 093 301,84
₡ 1 705 815,24	₡ 325 855,12	₡ 21 445,88	₡ 2 053 116,23
₡ 1 705 815,24	₡ 306 453,48	₡ 39 248,09	₡ 2 051 516,81
₡ 1 705 815,24	₡ 376 604,25	₡ 6 100,84	₡ 2 088 520,33
₡ 1 705 815,24	₡ 343 675,31	₡ 15 496,56	₡ 2 064 987,11
₡ 20 469 782,88	₡ 3 263 441,31	₡ 469 024,41	₡ 24 202 248,61

Fuente: (Propia)

Gráfica 4 Comparativo de cargas

Fuente: (Propia)

La energía descargada de la red se muestra linealmente estable debido a que el análisis de demanda horario se realizó para un día al año y se aplicó para todos los días, ya que para hacer un estudio semanal o mensual variable de consumo le correspondería una investigación a profundidad.

Análisis financiero

Se solicitó a la empresa Soluciones Electromecánicas que realizara un estimado por la construcción de la infraestructura eléctrica, en los sistemas que fueron parte del alcance, no se tomó en cuenta la luminarias ni equipos de cocción, aire acondicionado o electrodomésticos y se hace especial énfasis en la acometida y distribución de tableros, siendo las secciones del proyecto abarcan la mayor parte del costo. En una tabla resumen se obtiene los resultados del presupuesto:

Tabla 32 Presupuesto de construcción proyecto eléctrico

TABLA DE DESGLOSE CON IMPUESTOS				
SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS				
ITEM	SISTEMA	CANTIDAD	UNIDAD	TOTAL (US\$)
1	Acometida	1	gb	15818,01
2	Sistema de baja tensión	1	gb	75667,64
3	Sistema iluminación	1	gb	13264,44
4	Sistema tomacorrientes	1	gb	7868,01
5	Sistema Salidas Especiales	1	gb	13189,03
SUBTOTAL				135807,13
TOTAL + IVA				\$ 153 462,06
TOTAL COLONES				¢ 92 077 234,52

Fuente: Soluciones Electromecánicas S.A.

El análisis financiero a considerar de importancia en esta investigación es el del sistema de generación fotovoltaica, donde también se realizó un estimado de costos con proveedores locales e internacionales buscando encontrar los mejores precios para el escenario óptimo de análisis.

La proyección de inversión para el proyecto se resume en los siguientes rubros:

Tabla 33 Inversión inicial estimada para la instalación de paneles solares

Inversión		Cantidad	Costo Total
Paneles solares	₡ 87 000,00	366	₡ 31 842 000,00
Inversores Fronius	₡ 1 978 020,00	28	₡ 55 384 560,00
Racks de montaje en piso	₡ 2 656 187,00	1	₡ 2 656 187,00
Mantenimiento y operación	₡ 10 292 734,08	1	₡ 10 292 734,08
Instalación	₡ 15 700 780,80	1	₡ 15 700 780,80
Total inversión			₡115 876 261,88

Fuente: (Propia)

Al aplicar la selección de los equipos que se instalarán es importante realizar una investigación sobre la vida útil de los mismos para considerar si es necesario un recambio de alguno de los componentes del sistema. El cálculo financiero está proyectado a 25 años ya que la vida útil de los equipos de mayor cantidad (paneles solares) tiene esta vida útil según el fabricante. Mientras que, para los inversores según proveedores locales y el mismo fabricante dan una garantía de 10 años, y establecen el tiempo de vida de los equipos en un rango amplio de 10 a 20 años, tomando en cuenta factores climáticos y ambientales, así como las tareas de mantenimiento que se le brinde a los equipos. Por lo anterior mencionado, se decide proyectar una vida de uso de los inversores de 12.5 años para realizar solamente un recambio de los equipos de ser necesario. Y además se considera un monto importante asignado a tareas de mantenimiento y costos de operación por lo que se espera la vida útil alcance los 15 años de duración, para efectos del escenario financiero se aplica un recambio de todos los inversores una vez durante el período de vida del complejo.

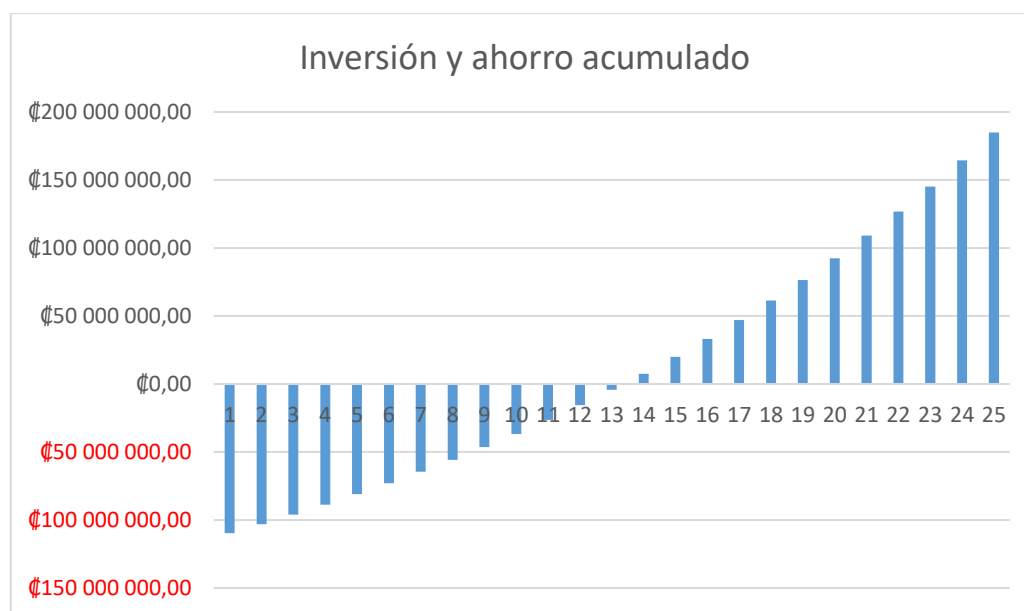
Se aplica un aumento en el costo de la energía de un 5%, efectuando los cálculos de VAN y TIR tenemos los siguientes resultados:

Tabla 34 Resultados de análisis VAN y TIR

Van	₡ 86 633 564,69
TIR	7%

Fuente: (Propia)

Según los resultados del cálculo financiero una tasa interna de retorno inferior al costo del capital muestra un escenario poco viable a nivel económico, ya que según una investigación de mercados la tasa de interés para préstamos de fondos para el financiamiento de energías renovables es de un 10%.

Gráfica 5 Inversión y ahorro acumulado

Fuente: (Propia)

En la gráfica 5, es evidente la recuperación de la inversión para el año número 13, luego el proyecto empieza a generar ingresos positivos por ahorro.

De igual manera es posible realizar un análisis tanto técnico como económico para determinar la viabilidad del uso de micro inversores y su aplicación en el diseño por lo que se realiza una investigación del pro y contras de utilizar esta tecnología. El mercado de los micro inversores integrados al módulo fotovoltaico es incipiente y permite tener ahorros considerables comparado con los sistemas fotovoltaicos donde se adquieren los micro inversores por separado de los paneles solares. Entre las ventajas de los micro inversores se destaca la eficiencia mejorada

del sistema si se diese el caso que uno de los paneles sale de funcionamiento ya sea por sombras o defectos de operación, no afectará el ramal como sucede con los inversores centrales. Por otra parte, analizando la ficha técnica del panel seleccionado para el segundo escenario es evidente la considerable pérdida de potencia experimentada por lo que se deberá realizar un redimensionamiento importante de unidades fotovoltaicas. Según la ficha técnica con referencia al apéndice 15, un panel solar de 350 watts de producción pico, tendrá una potencia de salida utilizable de 290 watts, por lo que se evidencia que su principal desventaja es la ineficiencia en la pérdida de potencia, que su consecuencia se refleja en la necesidad de realizar un redimensionamiento de la cantidad de equipos a instalar, por lo que los costos de inversión son aún mayores. Al realizar un análisis de las cargas y buscando mayor ahorro en el consumo que directamente se traduce en ahorro económico se determinó que es posible retirar los calentadores de agua de paso que es un equipo de alto consumo y ser sustituido por calentadores de agua solares instalados en techos, por lo tanto, será posible reducir el consumo de la carga principal proyectada como anteriormente se resumió.

Al realizar una segunda proyección de costos y el redimensionamiento del sistema fotovoltaico, considerando las pérdidas de potencia ocasionadas por la falta de eficiencia del inversor se determina una cantidad de módulos fotovoltaicos de 320 unidades.

Tabla 35 Inversión inicial sistema con micro inversores

Inversión		Cantidad	Costo Total
Paneles solares	₡ 293 250,00	320	₡ 93 840 000,00
Calentadores solares	₡ 4 084 800,00	1	₡ 4 084 800,00
Racks de montaje en piso	₡ 2 310 882,69	1	₡ 2 310 882,69
Mantenimiento y operación	₡ 4 692 000,00	1	₡ 4 692 000,00
Instalación	₡ 16 891 200,00	1	₡ 16 891 200,00
Total inversión			₡121 818 882,69

Fuente: (Propia)

Los resultados del estudio financiero muestran que se incrementa la inversión inicial por lo tanto los resultados son menos favorables, se disminuye la cantidad de paneles necesarios, pero aumenta su costo individual significativamente. El mantenimiento es menor debido a que los dispositivos micro inversores son libres de mantenimiento, el monto estimado es para

mantenimiento programado que se realice al sistema en general. Por lo tanto, un sistema realizado con esta tecnología en el diseño de un sistema con esta cantidad de paneles no es viable.

Tabla 36 VAN y TIR Micro inversores

Van	₡ 76 574 196,89
TIR	6%

Fuente: (Propia)

En un tercer escenario es posible analizar los inversores centrales, pero con la disminución de la carga de los calentadores solares, por lo tanto, se disminuye la cantidad de módulos a instalar lo que beneficia en una inversión inicial menor. Al reducir el consumo la nueva cantidad de paneles es de 288. Por lo que todos los cálculos realizados en el diseño cambian y se generan nuevos resultados de ahorro correspondientes a la facturación de ₡ 5 727 148.73. Y los resultados del análisis monetario es el siguiente:

Tabla 37 VAN y TIR para sistema con inversores centrales y con calentadores solares

Van	₡ 78 742 910,40
TIR	8%

Fuente: (Propia)

Gráfica 6 Recuperación de inversión (escenario 3)



Fuente: (Propia)

A su vez el periodo de recuperación de la inversión inicial es la más favorable de los tres análisis realizados para el proyecto ya que según la gráfica 6 se realizaría en un periodo de 12.5 años, por lo que este es el mejor de los escenarios de implementación del sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Del diseño de un proyecto desde cero se puede concluir que las distancias y amplitud del proyecto son determinantes para el costo de este, por motivos de rectificación de caídas de tensión se tuvo que aumentar los calibres de los conductores significativamente. Además, el análisis de cargas de uso continuo se debe ser cuidadoso al hacerlo ya que puede hacer que el proyecto parezca sobredimensionado, pero al referirse al código eléctrico y aplicando el correcto criterio de diseño es posible lograr un equilibrio.

Además, el exceso de equipos de alto consumo puede generar que un proyecto se vuelva muy caro o con altas facturaciones mensuales por demanda de potencia. Y como se concluyó del análisis de facturación, para la tarifa comercial para consumos superiores a los 3000kWh existe una diferencia muy amplia en los costos, ya que el cobro por potencia se basará en la carga demandada del proyecto en general, por lo que entre más alto sea el dimensionamiento de carga demandada mayor será el pago de tarifa básica, y además de esto se deberá pagar un costo por el consumo de energía.

La importancia de aplicación de softwares como Dialux para el diseño y distribución de luminarias, permite lograr un diseño justo y que además sea adecuado para los usuarios de las instalaciones, que si se logra ser eficiente en reducir cargas en proyectos grandes es posible generar un ahorro importante no sólo en la construcción del proyecto, sino también, en los costos que se pagan al proveedor de energía. Las simulaciones crean además una herramienta para imaginar y que el cliente perciba de una mejor manera la distribución de iluminación por lo que permite realizar cambios y adaptaciones conforme se avanza en el diseño de una forma muy ágil.

El interesante proceso de conversión de unidades de energía solar brindados por el Instituto Meteorológico Nacional es la base para todo análisis de inversión en proyectos de energía solar, y existen distintos tipos de formas de efectuarlos, yendo de lo general a lo específico, donde uno de los análisis propuestos en esta investigación fue el desglose horario del consumo y la generación por medio del sistema fotovoltaico. Al analizar la metodología de conexión a la red se concluye que el método de cobro y el reglamento de cogeneración distribuida está diseñado con el objetivo que los proyectos no sean tan viables como la ingeniería eléctrica lo permite, y su naturaleza

horaria y la inestabilidad por los factores climatológicos no permiten explotar de una manera más eficiente este tipo de energía.

Una de las conclusiones más importantes de la investigación con el método de estudio horario de la radiación solar, es que al sistema tener horas improductivas, no importa que tanto se genere y se suba a la red, siempre se deberá descargar cantidades de energía que no permiten el ahorro de la tasa de cobro más elevada que es el cobro por potencia, como se observa en la gráfica 4 la demanda de descarga de la red siempre estará por encima de los 3000 kWh, por lo tanto la reducción económica y la inversión inicial será recuperable en un lapso de tiempo extenso. Por lo cual se determina que este tipo de tecnología aún no está al alcance de todos como la eficiencia de los cálculos demuestran que podría ser un exitoso medio de crecimiento económico y no existe un interés gubernamental de mejorar las condiciones.

En el análisis de los micro inversores es importante destacar que el primer factor por el que no son viables para proyectos grandes es la eficiencia en la potencia generada, que representa una pérdida de un 40% de lo que produciría un panel en potencia pico, que un inversor central si puede manejar de una manera más eficiente, por lo que el redimensionamiento del sistema provoca una mayor inversión inicial.

Recomendaciones

Se recomienda realizar una mejor distribución arquitectónica del complejo ubicando los lugares de mayor consumo a una menor distancia de la acometida. Para lograr bajar los costos que la rectificación de la caída de tensión generó al subir los diámetros de los conductores, y de esta se podrá reducir el costo de construcción.

De igual manera es recomendable utilizar otra metodología para el calentamiento del agua en duchas como por ejemplo, calentadores solares, ya que los calentadores de agua fueron uno de los equipos que más subió la carga demandada, y además en una zona caliente como la estudiada no es tan eficiente los calentadores de paso, y como se demostró en los análisis de los tres escenarios la implementación de los calentadores puede generar una mayor rentabilidad en el proyecto.

Diseñar sistemas arquitectónicos de ventilación podría reducir el uso de aire acondicionado en horas donde el calor no es extremo, ya que de igual manera el aire acondicionado es uno de los equipos con mayor consumo del proyecto.

CAPÍTULO VI. PROPUESTA

La propuesta es realizar un diseño eléctrico que sin importar la decisión tomada con respecto a los paneles solares sean un diseño bien dimensionado y funcional para ejecutarse en cualquier momento y que además pueda ser integrado junto a un diseño de un sistema fotovoltaico capaz de generar ahorro y recuperar la inversión realizada, que en el peor de los escenarios dicha inversión se recupera en diez años, siendo los siguientes 15 años viables para generar ganancias.

Las estimaciones de los costos realizados dan un norte del comportamiento económico que pueda tener la implementación de los proyectos, no obstante, es recomendable realizar un comparativo de importación de los equipos para los paneles solares, y determinar el mejor escenario de implementación.

REFERENCIAS

Trabajos citados

- Agencia Virtual Electricidad.* (s.f.). Obtenido de <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/Electricidad/servicios-residenciales/Tarifas+Actuales>
- Allen, F., A. Brealey, R., & C. Myers, S. (2010). *Principios de finanzas corporativas*. México: McGraw Hill / Interamericana editores S.A. DE C.V.
- Aparicio, M. P. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Marcombo .
- Dumrauf, G. L. (2006). *Manual de Cálculo Financiero Aplicado* . Argentina: La Ley.
- INTECO. (15 de Abril de 2016). Iluminación de los lugares de trabajo. *Interiores*. San José, Costa Rica: INTECO.
- LUGEnergy. (s.f.). *Lug Energy*. Obtenido de <https://www.lugenergy.com/modos-de-recarga-vehiculos-electricos/>
- Mojica, V. G. (2018).
- Muchos Leds, S.L. (2018). *Muchos Leds*. Obtenido de Que es la temperatura del color: <http://www.muchosleds.com/es/content/6-temperatura-de-color-calido-neutro-frio>
- National Fire Protection Association. (2014). *NFPA 70 - Código Eléctrico Nacional*. Quincy, Massachussets: National Fire Protection Association.
- Perpiñán Lamigueiro, Ó., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2012). *Diseño de Sistemas Fotovoltaico*. España: Promotora General de Estudios S.A.
- Rojas Castro, V., Alpízar Herrera, P., Mora Monge, H., & Robinson Taylor, R. (2015). Procedimientos para el planeamiento y diseño de las instalaciones eléctricas en edificios comerciales, industriales e institucionales. San José, San José, Costa Rica: Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales.
- Salvador Escoda S.A. (2018). *Libro Blanco de las Energías Renovables* . Salvador Escoda S.A.
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2012). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. Obtenido de REGLAMENTO DE OFICIALIZACIÓN DEL CÓDIGO

ELÉCTRICO DE COSTA RICA PARA LA SEGURIDAD DE LA VIDA:
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=77291&nValor3=96805&strTipM=TC

Sylvania. (2016). *Sylvania*. Obtenido de <http://www.sylvania.com.ec/explandict/temperatura-de-color/>

Torres Salas, A. (abril de 2019). Micro-Red con energías renovables para base Crestones. San José, San José, Costa Rica.

APÉNDICE

Apéndice 1 Propiedades de los conductores

Tabla 8. Propiedades de los conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Conductores									Resistencia en corriente continua a 75° C (167° F)						
	Área			Trenzado		Total				Cobre						
				Diámetro		Diámetro		Área		No recubiertos		Recubiertos		Aluminio		
	mm²	Mils circulares	Cantidad	mm	pulgada	mm	pulgada	mm²	pulgada²	ohm/ km	ohm/ k pies	ohm/ km	ohm/ k pies	ohm/ km	ohm/ k pies	
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8	
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1	
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05	
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21	
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06	
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17	
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18	
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.69	3.25	
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00	
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04	
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26	
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28	
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.652	0.808	
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.666	0.508	
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403	
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319	
1	42.41	83690	19	1.69	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253	
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201	
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159	
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126	
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100	
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847	
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707	
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605	
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529	
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424	
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353	
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303	
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282	
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265	
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235	
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212	
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169	
1500	760	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141	
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121	
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106	

Notas:

1. Estos valores de resistencia son válidos solamente para los parámetros indicados. Al usar conductores con hilos recubiertos, de distinto tipo de trenzado y especialmente a otras temperaturas, cambia la resistencia.
2. Fórmula para el cambio de temperatura: $R_2 = R_1 [1 + \alpha (T_2 - 75)]$, donde $\alpha_{cu} = 0.00323$, $\alpha_{AL} = 0.00330$ a 75°C .
3. Los conductores con trenzado compacto o comprimido tienen aproximadamente un 9% y un 3%, respectivamente, menos de diámetro del conductor desnudo que los conductores mostrados. Para las dimensiones reales de los cables compactos, véase la Tabla 5A.
4. Las conductividades usadas, según la IACS: cobre desnudo = 100%, aluminio = 61%.
5. El trenzado de Clase B está listado también como sólido para algunos calibres. Su área v diámetro total son los de la circunferencia circunscrita.

(National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 2 Factores de demanda y cargas para equipos de cocción

Tabla 220.55 Factores de demanda y cargas para estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas en mesones y otros electrodomésticos de cocción de más de 1 ¾ kW nominales. (La columna C se aplica en todos los casos, excepto lo permitido de otra forma en la Nota 3).

Número de electrodomésticos	Factor de demanda (%) (véanse las notas)		
	Columna A (menos de 3 ½ kW nominales)	Columna B (de 3 ½ kW hasta 8 ¾ kW nominales)	Columna C Demanda máxima (kW) (véanse las notas (no más de 12 kW nominales)
1	80	80	8
2	75	65	11
3	70	55	14
4	66	50	17
5	62	45	20
6	59	43	21
7	56	40	22
8	53	36	23
9	51	35	24
10	49	34	25
11	47	32	26
12	45	32	27
13	43	32	28
14	41	32	29
15	40	32	30
16	39	28	31
17	38	28	32
18	37	28	33
19	36	28	34
20	35	28	35
21	34	26	36
22	33	26	37
23	32	26	38
24	31	26	39
25	30	26	40
26–30	30	24	15 kW + 1 kW por cada estufa
31–40	30	22	
41–50	30	20	25 kW + ¾ kW por cada estufa
51–60	30	18	
61 y más	30	16	

(National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 3 Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación

Tabla 220.12 Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación

Tipo de ocupación	Carga unitaria	
	Volt-Ampere por metro cuadrado	Volt-Ampere por pie cuadrado
Cuarteles y auditorios	11	1
Bancos	39 ^b	3½ ^b
Barberías y salones de belleza	33	3
Iglesias	11	1
Clubes	22	2
Juzgados	22	2
Unidades de vivienda ^a	33	3
Garajes comerciales (almacenamiento)	6	½
Hospitales	22	2
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos ^a	22	2
Edificios industriales y comerciales (áticos)	22	2
Casas de huéspedes	17	1½
Edificios de oficinas	39 ^b	3½ ^b
Restaurantes	22	2
Escuelas	33	3
Tiendas	33	3
Depósitos (almacenamiento)	3	¼
En cualquiera de las ocupaciones anteriores, excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares		
Lugares de reunión y auditorios	11	1
Recibidores, pasillos, armarios, escaleras	6	½
Espacios de almacenamiento	3	¼

^a Véase la sección 220.14(J)

^b Véase la sección 220.14(K)

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 4. Factores de demanda de cargas de alumbrado

Tabla 220.42 Factores de demanda de cargas de alumbrado

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (Volt-amperes)	Factor de demanda (%)
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120.000	35
	A partir de 120.000	25
Hospitales *	Primeros 50.000 o menos	40
	A partir de 50.000	20
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos*	Primeros 20.000 o menos	50
	De 20.001 a 100.000	40
	A partir de 100.000	30
Depósitos (almacenamiento)	Primeros 12.500 o menos	100
	A partir de 12.500	50
Todos los demás	Volt-amperes totales	100

*Los factores de demanda de esta Tabla no se deben aplicar a la carga calculada de los alimentadores o acometidas que dan suministro a áreas de hospitales, hoteles y moteles en las que es posible que se deba utilizar toda la iluminación al mismo tiempo, como quirófanos, comedores y salas de baile.

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 4. Factores de demanda para secadoras eléctricas domésticas de ropa

Tabla 220.54 Factores de demanda para secadoras eléctricas domésticas de ropa.

Número de secadoras	Factor de demanda (%)
1-4	100
5	85
6	75
7	65
8	60
9	55
10	50
11	47
12-23	47% menos 1% por cada secadora que exceda el número de 11
24-42	35% menos 0.5% por cada secadora que exceda el número de 23.
43 y más	25%

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 5. Selección de conductores según ampacidad y temperatura

Tabla 310.16 Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 volts y 60° C a 90° C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30° C (86° F).

	Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310.13(A)]						
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	
Calibre AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Calibre AWG o kcmil
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 6. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra

Tabla 250.122 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Nota: Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4(A)(5) o (B)(4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.

*Véanse las restricciones de instalación en la sección 250.120.

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 7. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Tabla 250.66 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo ^a (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^b
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1 100	Más de 900 hasta 1 750	2/0	4/0
Más de 1100	Más de 1 750	3/0	250

Fuente: (National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 8. Dimensiones de los conductores aislados y de los alambres para artefactos

Tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y de los alambres para artefactos

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Diámetro aproximado		Área aproximada	
		mm	pulgada	mm²	pulgada²
Tipo: FFH-2, RFH-1, RFH-2, RHH*, RHW*, RHW-2*, RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, THHW, THW, THW-2, TW, XF, XFF					
RFH-2 FFH-2	18	3.454	0.136	9.355	0.0145
	16	3.759	0.148	11.10	0.0172
RHH, RHW, RHW-2	14	4.902	0.193	18.90	0.0293
	12	5.385	0.212	22.77	0.0353
	10	5.994	0.236	28.19	0.0437
	8	8.280	0.326	53.87	0.0835
	6	9.246	0.364	67.16	0.1041
	4	10.46	0.412	86.00	0.1333
	3	11.18	0.440	98.13	0.1521
	2	11.99	0.472	112.9	0.1750
	1	14.78	0.582	171.6	0.2660
	1/0	15.80	0.622	196.1	0.3039
	2/0	16.97	0.668	226.1	0.3505
	3/0	18.29	0.720	262.7	0.4072
	4/0	19.76	0.778	306.7	0.4754
	250	22.73	0.895	405.9	0.6291
	300	24.13	0.950	457.3	0.7088
	350	25.43	1.001	507.7	0.7870
	400	26.62	1.048	556.5	0.8626
	500	28.78	1.133	650.5	1.0082
	600	31.57	1.243	782.9	1.2135
	700	33.38	1.314	874.9	1.3561
	750	34.24	1.348	920.8	1.4272
	800	35.05	1.380	965.0	1.4957
	900	36.68	1.444	1057	1.6377
	1000	38.15	1.502	1143	1.7719
	1250	43.92	1.729	1515	2.3479
	1500	47.04	1.852	1738	2.6938
	1750	49.94	1.966	1959	3.0357
	2000	52.63	2.072	2175	3.3719
SF-2, SFF-2	18	3.073	0.121	7.419	0.0115
	16	3.378	0.133	8.968	0.0139
	14	3.759	0.148	11.10	0.0172
SF-1, SFF-1	18	2.311	0.091	4.194	0.0065
RFH-1, XF,XFF	18	2.692	0.106	5.161	0.0080
TF, TFF, XF,XFF	16	2.997	0.118	7.032	0.0109
TW, XF, XFF, THHW, THW, THW-2	14	3.378	0.133	8.968	0.0139

(National Fire Protection Association, 2014).

Tabla 5. *Continúa*

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Diámetro aproximado		Área aproximada	
		mm	pulgada	mm ²	pulgada ²
TW, THHW, THW, THW-2	12	3.861	0.152	11.68	0.0181
	10	4.470	0.176	15.68	0.0243
	8	5.994	0.236	28.19	0.0437
RHH*, RHW*, RHW-2*	14	4.140	0.163	13.48	0.0209
RHH*, RHW*, RHW-2*, XF, XFF	12	4.623	0.182	16.77	0.0260
Tipo: RHH*, RHW*, RHW-2*, THHN, THHW, THW, THW-2, TFN, TFFN, THWN, THWN-2, XF, XFF					
RHH*, RHW*, RHW-2*, XF, XFF	10	5.232	0.206	21.48	0.0333
RHH*, RHW*, RHW-2*	8	6.756	0.266	35.87	0.0556
TW, THW, THHW, THW-2, RHH*, RHW*, RHW-2*	6	7.722	0.304	46.84	0.0726
	4	8.941	0.352	62.77	0.0973
	3	9.652	0.380	73.16	0.1134
	2	10.46	0.412	86.00	0.1333
	1	12.50	0.492	122.6	0.1901
	1/0	13.51	0.532	143.4	0.2223
	2/0	14.68	0.578	169.3	0.2624
	3/0	16.00	0.630	201.1	0.3117
	4/0	17.48	0.688	239.9	0.3718
	250	19.43	0.765	296.5	0.4596
	300	20.83	0.820	340.7	0.5281
	350	22.12	0.871	384.4	0.5958
	400	23.32	0.918	427.0	0.6619
	500	25.48	1.003	509.7	0.7901
	600	28.27	1.113	627.7	0.9729
	700	30.07	1.184	710.3	1.1010
	750	30.94	1.218	751.7	1.1652
	800	31.75	1.250	791.7	1.2272
	900	33.38	1.314	874.9	1.3561
	1000	34.85	1.372	953.8	1.4784
	1250	39.09	1.539	1200	1.8602
	1500	42.21	1.662	1400	2.1695
	1750	45.11	1.776	1598	2.4773
	2000	47.80	1.882	1795	2.7818
TFN, TFFN	18	2.134	0.084	3.548	0.0055
	16	2.438	0.096	4.645	0.0072

(Continúa)

(National Fire Protection Association, 2014).

Tabla 5. *Continúa*

Tipo	Calibre (AWG o kcmil)	Diámetro aproximado		Área aproximada	
		mm	pulgada	mm ²	pulgada ²
THHN, THWN, THWN-2	14	2.819	0.111	6.258	0.0097
	12	3.302	0.130	8.581	0.0133
	10	4.166	0.164	13.61	0.0211
	8	5.486	0.216	23.61	0.0366
	6	6.452	0.254	32.71	0.0507
	4	8.230	0.324	53.16	0.0824
	3	8.941	0.352	62.77	0.0973
	2	9.754	0.384	74.71	0.1158
	1	11.33	0.446	100.8	0.1562
	1/0	12.34	0.486	119.7	0.1855
	2/0	13.51	0.532	143.4	0.2223
	3/0	14.83	0.584	172.8	0.2679
	4/0	16.31	0.642	208.8	0.3237
	250	18.06	0.711	256.1	0.3970
	300	19.46	0.766	297.3	0.4608
Tipo: FEP, FEPB, PAF, PAFF, PE, PFA, PFAH, PFF, PGF, PGFF, PTE, PTFE, TFE, THHN, THWN, THWN-2, Z, ZF, ZFF					
THHN, THWN, THWN-2	350	20.75	0.817	338.2	0.5242
	400	21.95	0.864	378.3	0.5863
	500	24.10	0.949	456.3	0.7073
	600	26.70	1.051	559.7	0.8676
	700	28.50	1.122	637.9	0.9887
	750	29.36	1.156	677.2	1.0496
	800	30.18	1.188	715.2	1.1085
	900	31.80	1.252	794.3	1.2311
	1000	33.27	1.310	869.5	1.3478
PF, PGFF, PGF, PFF, PTF, PAF, PTFE, PAFF	18	2.184	0.086	3.742	0.0058
	16	2.489	0.098	4.839	0.0075
PF, PGFF, PGF, PFF, PTF, PAF, PTFE, PAFF, TFE, FEP, PFA, FEPB, PFAH	14	2.870	0.113	6.452	0.0100
TFE, FEP, PFA, FEPB, PFAH	12	3.353	0.132	8.839	0.0137
	10	3.962	0.156	12.32	0.0191
	8	5.232	0.206	21.48	0.0333
	6	6.198	0.244	30.19	0.0468
	4	7.417	0.292	43.23	0.0670
	3	8.128	0.320	51.87	0.0804
	2	8.941	0.352	62.77	0.0973
TFE, PFAH	1	10.72	0.422	90.26	0.1399
TFE, PFA, PFAH, Z	1/0	11.73	0.462	108.1	0.1676
	2/0	12.90	0.508	130.8	0.2027
	3/0	14.22	0.560	158.9	0.2463
	4/0	15.70	0.618	193.5	0.3000
ZF, ZFF	18	1.930	0.076	2.903	0.0045
	16	2.235	0.088	3.935	0.0061

(National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 9. Dimensiones y área porcentual en tubería EMT

Tabla 4. Dimensiones y área porcentual de conduit y tubería
(Áreas de conduit o tubería para las combinaciones de alambres permitidas en la Tabla 1, Capítulo 9)

Artículo 358 – Tubería eléctrica metálica (EMT)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Diámetro interno nominal		Área total 100 %		60 %		1 alambre 53 %		2 alambres 31 %		Más de 2 alambres 40 %	
		mm	pulgada	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²
16	½	15.8	0.622	196	0.304	118	0.182	104	0.161	61	0.094	78	0.122
21	¾	20.9	0.824	343	0.533	206	0.320	182	0.283	106	0.165	137	0.213
27	1	26.6	1.049	556	0.864	333	0.519	295	0.458	172	0.268	222	0.346
35	1 ¼	35.1	1.380	968	1.496	581	0.897	513	0.793	300	0.464	387	0.598
41	1 ½	40.9	1.610	1314	2.036	788	1.221	696	1.079	407	0.631	526	0.814
53	2	52.5	2.067	2165	3.356	1299	2.013	1147	1.778	671	1.040	866	1.342
63	2 ½	69.4	2.731	3783	5.858	2270	3.515	2005	3.105	1173	1.816	1513	2.343
78	3	85.2	3.356	5701	8.846	3421	5.307	3022	4.688	1767	2.742	2280	3.538
91	3 ½	97.4	3.834	7451	11.545	4471	6.927	3949	6.119	2310	3.579	2980	4.618
103	4	110.1	4.334	9521	14.753	5712	8.852	5046	7.819	2951	4.573	3808	5.901

(National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 10. Dimensiones y área porcentual en tubería PVC Cédula 40

Tabla 4 Continúa

Artículos 352 y 353 - Conduit rígido de PVC (PVC), Cédula 40 y Conduit HDPE (HDPE)													
Designador métrico	Tamaño comercial	Diámetro interno nominal		Área total 100 %		60 %		1 alambre 53 %		2 alambres 31 %		Más de 2 alambres 40 %	
		mm	pulgada	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²	mm ²	pulgada ²
12	3/8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	½	15.3	0.602	184	0.285	110	0.171	97	0.151	57	0.088	74	0.114
21	¾	20.4	0.804	327	0.508	196	0.305	173	0.269	101	0.157	131	0.203
27	1	26.1	1.029	535	0.832	321	0.499	284	0.441	166	0.258	214	0.333
35	1 ¼	34.5	1.360	935	1.453	561	0.872	495	0.770	290	0.450	374	0.581
41	1 ½	40.4	1.590	1282	1.986	769	1.191	679	1.052	397	0.616	513	0.794
53	2	52.0	2.047	2124	3.291	1274	1.975	1126	1.744	658	1.020	849	1.316
63	2 ½	62.1	2.445	3029	4.695	1817	2.817	1605	2.488	939	1.455	1212	1.878
78	3	77.3	3.042	4693	7.268	2816	4.361	2487	3.852	1455	2.253	1877	2.907
91	3 ½	89.4	3.521	6277	9.737	3766	5.842	3327	5.161	1946	3.018	2511	3.895
103	4	101.5	3.998	8091	12.554	4855	7.532	4288	6.654	2508	3.892	3237	5.022
129	5	127.4	5.016	12748	19.761	7649	11.856	6756	10.473	3952	6.126	5099	7.904
155	6	153.2	6.031	18433	28.567	11060	17.140	9770	15.141	5714	8.856	7373	11.427

(National Fire Protection Association, 2014).

Apéndice 11. Listado de interiores (áreas), tareas o actividades con especificación de la iluminancia, limitación del deslumbramiento y calidad de color

Tipo de interior, tarea o actividad	E_m lux	CUD_L	R_a	Observaciones
1. AREAS GENERALES DE EDIFICACIONES				
Vestíbulos de entrada	100	22	60	
Salas de estar	200	22	80	
Áreas de circulación y pasillos	100	28	40	En las salidas y entradas proporcionar una zona de transición y evitar cambios súbitos
Escaleras, escaleras mecánicas y bandas transportadoras (de personas)	150	25	40	
Rampas/zonas de carga	150	25	40	
Comedores	200	22	80	
Áreas de descanso	100	22	80	
Salas para ejercicios físicos	300	22	80	
Guardarropas, cuartos de aseo, baños, tocadores	200	25	80	
Enfermerías	500	19	80	
Sala de atención médica	500	16	90	T_{cp} 4 000 k, como mínimo
Cuartos técnicos (industrias), cuartos de equipos eléctricos	200	25	60	
Cuarto de correspondencia, tablero de interruptores.	500	19	80	
Almacén, cuartos de mercancías, almacén refrigerado	100	25	60	200 lux si están ocupados continuamente
Áreas de despacho, embalaje, manipulación	300	25	60	
Estación de control	150	22	60	200 lux si están ocupados continuamente

Fuente: (INTECO, 2016).

Tipo de interior, tarea o actividad	E_{mlux}	CUD_L	R_a	Observaciones
Control de calidad	1 000	19	90	Tcp 4 000 K, como mínimo
22. OFICINAS				
Archivado, copiado, circulación, entre otros.	300	19	80	
Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos	500	19	80	Para trabajar en PVD, ver 4.10
Dibujo técnico	750	16	80	
Estación de trabajo CAD	500	19	80	Para trabajar en PVD, ver 4.10
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	La iluminación debiera ser controlable (regulable)
Puesto (carpeta) de recepción	300	22	80	
Lugar de archivos	200	25	80	
23. VENTA AL DETALLE (al por menor)				
Área de ventas, pequeña	300	22	80	
Área de ventas, grande	500	22	80	
Área de cajeros	500	19	80	
Mesa de empacado	500	19	80	
24. RESTAURANTES Y HOTELES				
Puesto de recepción /cajero, portero	300	22	80	
Cocina	500	22	80	
Restaurante, comedor, sala de eventos	200	22	80	La iluminación debería diseñarse para crear una atmósfera íntima
Restaurante de autoservicio	200	22	80	
Bufé	300	22	80	
Salas de conferencias	500	19	80	La iluminación debiera ser controlable (regulable)
Corredores (pasillos)	100	25	80	Son aceptables niveles inferiores durante la noche
25. LOCALES DE ENTRETENIMIENTO				
Teatros y salas de concierto	200	22	80	
Salas multipropósito	300	22	80	
Salas de ensayos, vestidores	300	22	80	Se requiere que los espejos para maquillarse estén libres de deslumbramiento
Museos (general)	300	19	80	Iluminación adecuada para los requisitos de exposición; proteger contra los efectos de la radiación

Fuente: (INTECO, 2016).

Apéndice 12. Método de cobro para tarifa comercial

Para consumos menores o iguales que 3 000 kWh	
Por cada kWh	¢ 124.98
Para consumos mayores de 3 000 kWh	
Cargo por energía, por cada kWh	¢ 74.79
Cargo por potencia, por cada kW	¢ 12 360.98

Fuente: (Agencia Virtual Electricidad, n.d.)

Apéndice 13. Ficha técnica inversores monofásicos fronius 8.2 PRIMO

DATOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO (5.0-1, 6.0-1, 8.2-1)

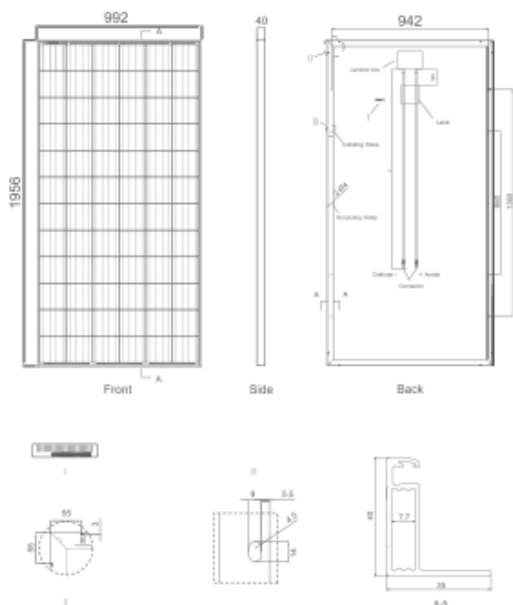
DATOS DE ENTRADA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max, 1} / I_{dc\ max, 2}$)	12 A / 12 A	18 A / 18 A	
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP/MPP ₂)	18 A / 18 A	27 A / 27 A	
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\ min}$)	80 V		
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)	80 V		
Tensión de entrada nominal ($U_{dc, n}$)	710 V		
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\ max}$)	1.000 V		
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	240 - 800 V		270 - 800 V
Número de seguidores MPP	2		
Número de entradas CC	2 + 2		
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\ max}$)	7,5 kW _{peak}	9,0 kW _{peak}	12,3 kW _{peak}
DATOS DE SALIDA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Potencia nominal CA ($P_{ac, n}$)	5.000 W	6.000 W	8.200 W
Máxima potencia de salida	5.000 VA	6.000 VA	8.200 VA
Corriente de salida CA ($I_{ac\ nom}$)	21,7 A	26,1 A	35,7 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Coefficiente de distorsión no lineal	< 5 %		
Factor de potencia ($\cos \phi_{ac, n}$)	0,85 - 1 ind. / cap.		
DATOS GENERALES	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	645 x 431 x 204 mm		
Peso	21,5 kg		
Tipo de protección	IP 65		
Clase de protección	1		
Categoría de sobretensión (CC / CA) ¹⁾	2 / 3		
Consumo nocturno	< 1 W		
Concepto de inversor	Sin transformador		
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada		
Instalación	Instalación interior y exterior		
Margen de temperatura ambiente	-40 - +55 °C		
Humedad de aire admisible	0 - 100 %		
Máxima altitud	4.000 m		
Tecnología de conexión CC	Conexión de 4x CC+ y 4x CC- bornes roscados 2,5 - 16 mm²		
Tecnología de conexión principal	Conexión de 3 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm²		
Certificados y cumplimiento de normas	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105		

¹⁾ De acuerdo con IEC 62109-1.

Fuente: (Fronius, s f.).

Apéndice 14 Ficha técnica paneles solares Jinko 330 watts

Engineering Drawings

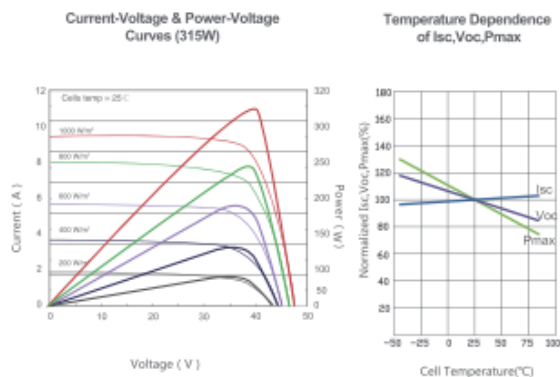


Packaging Configuration

(Two boxes =One pallet)

25pcs/ box, 50pcs/pallet, 600 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline	156×156mm (6 inch)
No. of cells	72	(6×12)
Dimensions	1956×992×40mm	(77.01×39.05×1.57 inch)
Weight	26.5 kg	(58.4 lbs.)
Front Glass	4.0mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	
Frame	Anodized Aluminium Alloy	
Junction Box	IP67 Rated	
Output Cables	TÜV 1×4.0mm², Length:1200mm	

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM310PP-A		JKM315PP-A		JKM320PP-A		JKM325PP-A		JKM330PP-A	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp	330Wp	246Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V
Maximum Power Current (Imp)	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A	8.74A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V	46.9V	44.2V
Short-circuit Current (Isc)	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.10A	7.34A	9.14A	7.38A
Module Efficiency STC (%)	15.98%		16.23%		16.49%		16.75%		17.01%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Fuente: (Jinko, s f.).

Apéndice 15 Ficha técnica paneles solares Solaria 350watts micro inversor incorporado



Solaria PowerXT® | AC Module

DC Input Performance at STC (1000W/m², 25° C, AM 1.5)

Solaria PowerXT-		350R-AC	355R-AC	360R-AC
Max Power (P _{max})	[W]	350	355	360
Efficiency	[%]	19.4	19.6	19.9
Open Circuit Voltage (V _{oc})	[V]	47.1	47.4	47.7
Short Circuit Current (I _{sc})	[A]	9.49	9.53	9.56
Max Power Voltage (V _{mp})	[V]	38.8	39.1	39.5
Max Power Current (I _{mp})	[A]	9.02	9.09	9.13

AC Output Data: Enphase IQ7+ Microinverter

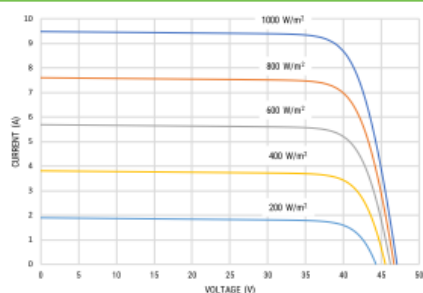
Peak Output Power	[VA]	300
Max Continuous Power	[VA]	290
Nominal Voltage	[V]	240
Max Continuous Current	[A]	1.21
Nominal Frequency	[Hz]	60
Extended Frequency Range	[Hz]	47-68
Efficiency	[%]	97.0
Power Factor / Adjustable	[#]	0.7 leading...0.7 lagging
Max Branch Circuit	[A]	20
Max Modules/Circuit	[#]	13
Operating Temperature	[C]	-40 to +65

* Refer to Enphase IQ7+ Datasheet for complete specification

Features

Communication	Power line
Monitoring	Enlighten Manager and MyEnlighten options Compatible with Enphase IQ Envoy
Disconnecting Means	Approved by UL for AC and DC load break as required by NEC Article 690
Rapid Shutdown	Compliant per NEC-2014 & 2017

IV Curves vs. Irradiance (350W Module)



Authorized Dealer



Mechanical Characteristics

Cell Type	Monocrystalline Silicon
Dimensions (L x W x H)	1621mm x 1116mm x 40mm
Weight	22 kg / 48 lbs
Glass Type / Thickness	AR Coated, Tempered / 3.2mm
Frame Type	Anodized Aluminum
Cable Type / Length	12 AWG PV Wire (UL) / 1000mm
Junction Box	IP67 / 4 diodes
Front Load (UL 1703)	5400 Pa / 113 psf*
Rear Load (UL 1703)	3600 Pa / 75 psf*

* Refer to Solaria Installation Manual for details

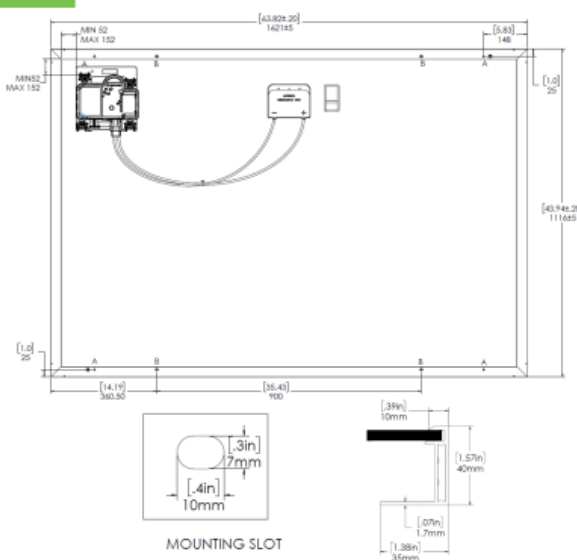
Certifications / Warranty

Certifications	UL 1703/UL1741/CEC
NEMA	3R
Fire Type	Type 1
Power & Product Warranty	25 years*

* Warranty details at www.solaria.com

Packaging

Stacking Method	Horizontal / Palletized
Pcs / Pallet	25
Pallet Dims	1668 x 1150 x 1230 mm
Pallet Weight	615 kg / 1360 lbs
Pallets / 40-ft Container	28
Pcs / 40-ft Container	700



Fuente: (The Solaria Corporation , 2018.).