

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Aprovechamiento de la irradiancia solar para el abastecimiento de potencia eléctrica a una urbanización ubicada en el departamento de Jalapa, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por Luis Eduardo Palma Avalos para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2025

Aprovechamiento de la irradiancia solar para el abastecimiento de potencia eléctrica a una urbanización ubicada en el departamento de Jalapa, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Aprovechamiento de la irradiancia solar para el abastecimiento de potencia eléctrica a una urbanización ubicada en el departamento de Jalapa, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por Luis Eduardo Palma Avalos para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2025



(f)

Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco

Tribunal examinador:

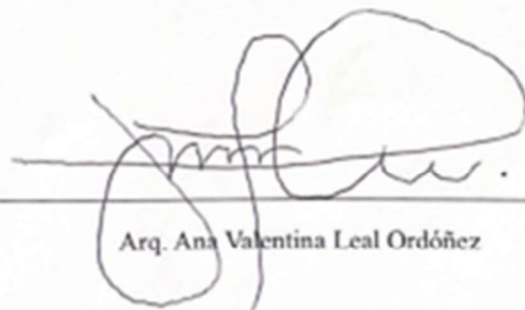


(f)

Arq. Juan Pablo Blas Arias

(f)

Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco



(f)

Arq. Ana Valentina Leal Ordóñez

- Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de Enero de 2025.

Índice general

Índice de tablas	VI
Índice de cuadros	VII
Índice de gráficas.....	VIII
Índice de figuras	IX
Listado acrónimos, abreviaturas y unidades.....	X
Resumen	XI
I. Introducción	1
II. Justificación.....	2
III. Importancia.....	3
A. Importancia económica.....	3
B. Importancia ambiental	3
C. Importancia social.....	4
D. Importancia tecnológica y modelo de innovación.....	4
IV. Objetivos.....	5
A. Objetivo general	5
B. Objetivos específico	5
V. Hipótesis.....	6
VI. Marco teórico.....	7
A. Planificación urbana	7
1. Diseños sostenibles.....	7
2. Eficiencia energética.....	8
3. Desarrollo inmobiliario	9
B. Análisis de sitio	9
1. Movimiento del Sol y análisis solar	9
2. Análisis topográfico y contexto de la urbanización.....	11
3. Normativa local	13
C. Sostenibilidad	13
1. Retorno de inversión	15
D. Huella ecológica	15
1. Emisiones	16

E.	Energía renovable	16
F.	Energía solar	17
1.	Condiciones necesarias y equipamiento esencial	18
G.	Paneles fotovoltaicos	19
1.	Panel policristalino.....	19
2.	Panel monocristalino	20
3.	Panel de silicio amorfo (película delgada)	21
H.	Sistemas de abastecimiento	22
1.	Conexión en serie	23
2.	Conexión en paralelo.....	24
3.	Tipos de sistemas solares fotovoltaicos.....	24
I.	Inversores	25
J.	Diseño de sistemas fotovoltaicos.....	26
1.	Demanda energética	26
2.	Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico.....	28
K.	Certificaciones verdes.....	34
1.	LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental).....	34
2.	EDGE (Excelencia en Diseño para Eficiencia Energética).....	34
3.	WELL.....	35
4.	CASA (Certificación Ambiental Sustentable para América Latina)	35
L.	Normativas Internacionales de Seguridad y Eficiencia en Instalaciones Solares: IEC y NEC	35
1.	Normativa IEC (International Electrotechnical Commission).....	35
2.	Normativa NEC (National Electrical Code).....	36
VII.	Metodología.....	37
A.	Evaluación local.....	37
B.	Desarrollo de cálculos preliminares	37
C.	Entregables	37
VIII.	Resultados y Discusión.....	38
A.	Análisis del sitio	38
1.	Análisis de terreno	38
2.	Análisis solar y climático	41
3.	Análisis de POT.....	45

B. Demanda energética	46
1. Cálculo iluminación	50
2. Cálculo fuerza	62
C. Dimensionamiento paneles fotovoltaicos	64
1. Factor de forma	67
2. Efectos de térmicos	68
3. Dimensionamiento de paneles.....	70
4. Orientación e inclinación	71
5. Energía producida	74
6. Configuración de paneles.....	75
D. Dimensionamiento de inversor	76
E. Cálculo de la huella de carbono.....	80
F. Cálculo de ahorro y tiempo de recuperación (ROI).....	83
IX. Conclusiones.....	85
A. General.....	85
B. Específicas.....	85
X. Recomendaciones.....	86
XI. Bibliografía.....	87
XII. Anexos	91
A. Planos	91
1.Plano de fuerza	91
2. Plano de iluminación.....	92
3. Plano curvas de nivel.....	93
4. Plano ubicación de paneles eléctricos	94
5. Plano distribución de paneles.....	95
B. Hojas técnicas.....	96
1. Jinko Solar Tiger	96
2. Jinko Solar Cheetah.....	98
3. LG NeON 2	99
4. REC ALPHA PURE.....	101
5. SunPower Maxeon 3	103
6. Bombilla MPE.....	105

7. Huawei SUN2000-100KTL-H!	106
8. SMA Sunny Tripower CORE 1	108
9. Fronius ECO 100-3-S	110
10. Sungrow SG110CX	112
11. Solar Edge SE100K	114
C. Documentos legales	118
1. Tarifas eléctricas	118
2. Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial 2019-2032 (Marco Legal)	122
D. Planificación	125
1. Cronograma de actividades	125

Índice de tablas

Tabla 1. Guía de ángulo de panel.	33
Tabla 2. Datos solares, ubicación.	43
Tabla 3. Temperatura en Jalapa.	45
Tabla 4. Demanda de electrodomésticos	63
Tabla 5. Comparación de paneles fotovoltaicos.....	64
Tabla 6. Comparativa de temperaturas	70
Tabla 7. Comparación de inversores.	76
Tabla 8. Comparación inversor-demanda.....	79

Índice de cuadros

Cuadro 1. Especificaciones técnicas LBD 15W.....	51
Cuadro 2. Demanda energética.	61
Cuadro 3. Ficha técnica Tiger	66
Cuadro 4. Ficha técnica SUN2000-100KTL-H1.....	78
Cuadro 5. Cronograma de actividades	125

Índice de gráficas

Gráfica 1. Carta solar	11
Gráfica 2. Curvas de nivel.....	12
Gráfica 3. Demanda energética garaje.	52
Gráfica 4. Demanda energética baño.	53
Gráfica 5. Demanda energética área social.	54
Gráfica 6. Demanda energética lavandería.....	55
Gráfica 7. Demanda energética módulo de gradas.....	56
Gráfica 8. Demanda energética habitación principal.	57
Gráfica 9. Demanda energética sala.	58
Gráfica 10. Demanda energética habitación secundaria.....	59
Gráfica 11. Demanda energética habitación secundaria.....	60

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz Global Solar Atlas	10
Figura 2. SunPath	10
Figura 3. Descomposición de radiación	17
Figura 4. Tipos de paneles solares.....	19
Figura 5. Conexión de paneles solares	23
Figura 6. Comparación de bombillas.	27
Figura 7. Proyección de sombras	33
Figura 8. Plano curvas de nivel	39
Figura 9. Isométrico terreno.	40
Figura 10. Elevación terreno.	41
Figura 11. Recorrido solar.....	41
Figura 12. Recorrido solar.....	42
Figura 13. Recorrido solar.....	42
Figura 14. Lotificación.....	47
Figura 15. Isométrico casa.	48
Figura 16. Isométrico casa.	49
Figura 17. Planos iluminación.....	50
Figura 18. Planos fuerza.....	62
Figura 19. Carta solar.	73
Figura 20. Disposición de paneles.....	79

Listado acrónimos, abreviaturas y unidades

CA: Corriente Alterna

CC: Corriente Continua

CO₂: Dióxido de carbono

HSP: Horas Solares Pico

IEC: International Electrotechnical Commission

IMPP: Corriente en el punto de máxima potencia

kWh: Kilovatios-hora

kWh/a: Kilovatios-hora por año

LED: Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)

m²: Metros cuadrados

NEC: National Electrical Code

NOCT: Normal Operating Cell Temperature (Temperatura Nominal de Operación de la Célula)

PV: Photovoltaic (Fotovoltaico)

PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System

ROI: Return on Investment (Retorno de la Inversión)

SC: Corriente de Cortocircuito (Short Circuit Current)

STC: Condiciones Estándar de Prueba (Standard Test Conditions)

VMPP: Voltaje en el punto de máxima potencia

VOC: Voltaje en Circuito Abierto (Open-Circuit Voltage)

W: Watt

Resumen

En este trabajo se investigó la viabilidad y el potencial de integrar energía solar fotovoltaica en una urbanización de Jalapa con la intención de mejorar la calidad de vida de los habitantes al reducir costos de electricidad, proporcionar energía confiable en áreas remotas, reducir la contaminación, aumentar la resiliencia energética y fomentar la sostenibilidad. El diseño de la urbanización se caracteriza por la disposición estratégica de paneles solares en áreas comunes y verdes, optimizando así la captación de energía solar efectiva en el conjunto residencial.

Estas innovaciones no solo aumentan la eficiencia energética, sino que también promueven un modelo de urbanización sostenible en Jalapa, estableciendo un paradigma para futuros desarrollos urbanos en la región y más allá. Aprovechar fuentes renovables como la energía solar no solo impulsa el desarrollo de comunidades más autosuficientes, sino que también fomenta una cultura de sostenibilidad que puede replicarse en otros proyectos urbanos.

El estudio comenzó con una investigación preliminar para obtener la mayor cantidad de información sobre las capacidades y requisitos de redes eléctricas con paneles fotovoltaicos interconectados. Posteriormente, se analizó la viabilidad de su implementación en el contexto del proyecto; se realizó un estudio para el potencial del recurso solar en el área seleccionada. Además, se desarrolló el dimensionamiento, orientación y número de paneles necesarios para cubrir parte del consumo energético de la urbanización. Finalmente, se realizó un análisis de los datos obtenidos para evaluar el impacto en la reducción de la huella energética de la zona.

I. Introducción

La urbanización y el desarrollo de nuevas áreas habitacionales presentan un reto constante para la sostenibilidad energética y la reducción del impacto ambiental. En Guatemala, el crecimiento urbano en áreas como Jalapa ofrece oportunidades para implementar tecnologías que disminuyan la dependencia de fuentes de energía convencionales, que emplean recursos no renovables para la producción de energía. Este proyecto se enfoca en el diseño de generación eléctrica fotovoltaica que aproveche al máximo la energía solar disponible en el área.

Los sistemas fotovoltaicos han demostrado ser una solución viable y eficaz para generar energía limpia y reducir los costos de electricidad a largo plazo. En este contexto, la presente investigación explora la factibilidad técnica, económica y ambiental de integrar paneles solares y sistemas de iluminación adaptativa en un desarrollo residencial en Jalapa.

El estudio incluye análisis detallados del terreno, las horas solares pico, la configuración óptima de los paneles y los inversores, así como los beneficios ambientales y económicos asociados junto con la reducción de la huella de carbono. El trabajo se apoya en un marco teórico que examina conceptos clave como la planificación urbana, la sostenibilidad en sus distintas dimensiones (económica, ambiental y social), las energías renovables, y las certificaciones verdes. El análisis abarca tanto la proyección de sombras como los cálculos detallados de consumo energético, considerando también la normatividad local y los estándares internacionales.

II. Justificación

Este estudio se fundamenta en la premisa de que la integración de energía solar no solo es crucial para reducir la dependencia de fuentes energéticas no renovables, sino que también tienen un impacto en la salud y el bienestar de las personas. Experiencias en países como Alemania, en el Parque Solar Lieberose y otros proyectos similares, revelan reducciones significativas en las emisiones de carbono y una mejora notable en la calidad del aire después de adoptar sistemas de energía solar a nivel urbano.

Durante 2014, en Jalapa, 27 comunidades del departamento experimentaron un colapso en el suministro eléctrico debido a la falta de infraestructura adecuada y a la incapacidad de la red existente para satisfacer la creciente demanda de electricidad. La ausencia de inversiones en mantenimiento y expansión de la infraestructura energética, sumada a las limitaciones técnicas de las instalaciones disponibles, resultó en un servicio ineficiente. Este problema evidenció la vulnerabilidad del sistema eléctrico de la región, subrayando la necesidad de soluciones sostenibles y de largo plazo. Posteriormente, el 14 de diciembre de 2023, se informó que la mayoría de las quejas presentadas a la Procuraduría de los Derechos Humanos (PDH) por parte de los habitantes de Jalapa estaban relacionadas con problemas de energía eléctrica.

Este proyecto no solo aborda la problemática de la dependencia energética en Jalapa, sino que también plantea un enfoque integral para aprovechar los recursos naturales locales y promover la sostenibilidad ambiental. Entre los principales beneficios se encuentra la capacidad de reducir la vulnerabilidad de la comunidad ante interrupciones del suministro eléctrico, lo cual es especialmente crucial en áreas donde la infraestructura es deficiente, sirviendo de modelo replicable para otros municipios de la región que enfrentan problemas similares.

III. Importancia

El desarrollo de un sistema fotovoltaico en la urbanización de Jalapa, Guatemala, es fundamental para abordar los desafíos energéticos y ambientales que enfrenta la región. Este proyecto tiene implicaciones significativas en múltiples niveles: económico, ambiental, social y tecnológico, lo que lo convierte en un modelo para futuros desarrollos sostenibles, tanto a nivel local como regional.

A. Importancia económica

Uno de los principales beneficios de la implementación de un sistema fotovoltaico es la reducción de los costos operativos a largo plazo. En un contexto donde las tarifas de electricidad continúan aumentando, la capacidad de generar energía limpia y sostenible a partir del sol permite a los propietarios y residentes del condominio disminuir significativamente su dependencia de la red eléctrica convencional y, por ende, reducir sus facturas de electricidad.

Además, la independencia energética que ofrece un sistema fotovoltaico reduce la vulnerabilidad de la urbanización a las fluctuaciones de precios en el mercado energético. Guatemala, como muchos otros países, depende en parte de la importación de combustibles fósiles para la generación de electricidad, lo que hace que los costos de energía sean susceptibles a variaciones internacionales. Al producir su propia energía, la urbanización protege a sus residentes de estos cambios, proporcionando estabilidad y previsibilidad en los costos.

B. Importancia ambiental

En un mundo donde las emisiones de gases de efecto invernadero siguen siendo uno de los principales motores del cambio climático, cada tonelada de CO₂ que se deja de emitir es un paso hacia la sostenibilidad global.

La implementación de energías renovables también contribuye a la mitigación de la huella ecológica. En lugar de seguir utilizando recursos no renovables para la generación de electricidad, el proyecto utiliza un recurso abundante y gratuito: la radiación solar. Esto no solo conserva los recursos naturales de la región, sino que también reduce la dependencia de combustibles fósiles, que son una fuente limitada y altamente contaminante.

Adicionalmente, la ubicación del proyecto en un área montañosa y con condiciones de radiación solar convenientes por su clima despejado y su cercanía al ecuador convierte a la urbanización en un ejemplo de cómo se pueden integrar las energías renovables en contextos geográficos complejos. La planificación del sistema con la inclinación y orientación óptimas demuestra que es posible aprovechar eficientemente la energía solar, promoviendo un uso responsable del suelo y contribuyendo a la preservación de espacios naturales.

C. Importancia social

El acceso a energías limpias y asequibles también tiene un impacto social positivo, al reducir las desigualdades en el acceso a recursos esenciales como la electricidad. En el contexto de Guatemala, el diseño de una urbanización autosuficiente energéticamente sienta un enfoque importante para la autogestión comunitaria. Como es el caso de Jalapa donde la mayoría de la energía eléctrica es distribuida por la municipalidad del departamento con una infraestructura y servicios que cuentan con bastantes limitaciones.

D. Importancia tecnológica y modelo de innovación

La combinación de paneles fotovoltaicos de alta eficiencia, inversores avanzados, no solo permite maximizar la producción de energía, sino que también facilita la integración de tecnologías inteligentes en la gestión del consumo energético.

Este enfoque puede servir como referencia para futuras urbanizaciones sostenibles en Guatemala y en otros países con condiciones climáticas similares. Además, sienta un precedente para que los desarrolladores inmobiliarios y las autoridades locales consideren seriamente la transición energética como una parte integral de la planificación urbana moderna.

IV. Objetivos

A. Objetivo general

Diseñar un sistema de paneles fotovoltaicos integrado a la red eléctrica de una urbanización en Jalapa, Guatemala, con el fin de mejorar la eficiencia energética y promover un modelo sostenible de desarrollo urbano.

B. Objetivos específico

- Desarrollar un diseño de suministro de energía fotovoltaica para que la urbanización pueda incorporar la tecnología, teniendo en cuenta aspectos como la ubicación de los paneles solares y el recorrido del sol para aprovechar la luz natural.
- Abastecer el 50% del consumo teórico de la energía eléctrica demandada por las casas del condominio por medio del diseño del sistema integrado de paneles fotovoltaicos.
- Reducir teóricamente la huella ecológica estimada de la urbanización en un 20% durante la vida útil de 25 años del sistema interconectado que recurre a la utilización de la radiación solar.

V. Hipótesis

El presente estudio tiene como objetivo evaluar y demostrar la viabilidad de integrar un sistema fotovoltaico en una urbanización ubicada en Jalapa, Guatemala, con la intención de mejorar la eficiencia energética del conjunto residencial y reducir su impacto ambiental. Se parte de la premisa de que, al diseñar y ejecutar un sistema de paneles solares estratégicamente distribuido y alineado con el recorrido del sol, se podrá generar al menos el 50% de la demanda energética anual del condominio, logrando una importante disminución en la dependencia de fuentes no renovables.

La implementación de este sistema permitirá no solo una significativa reducción en los costos operativos relacionados con la energía eléctrica, sino también una contribución activa a la sostenibilidad del proyecto. Se espera que, al aprovechar las horas solares pico de la región, el sistema fotovoltaico proporcione una fuente de energía constante y predecible, lo que redundará en un retorno de inversión en menos de 2 años. Además, el diseño eficiente, considerando la inclinación y orientación óptimas de los paneles solares, asegura que el sistema capture el máximo potencial de radiación solar, optimizando así la producción de energía.

En términos de sostenibilidad, se hipotetiza que la implementación del sistema solar reducirá la huella ecológica de la urbanización en al menos un 20%, contribuyendo a la disminución de las emisiones de CO₂ en la región. Este ahorro en emisiones está basado en la capacidad del sistema de cubrir el 50% del consumo energético total de la urbanización, reemplazando la electricidad generada por fuentes convencionales (altamente dependientes de combustibles fósiles) con energía solar limpia y renovable. Este cambio contribuirá de manera significativa a mitigar el impacto ambiental del desarrollo, haciendo que la urbanización no solo sea más eficiente, sino también un modelo de sostenibilidad para futuros proyectos residenciales en Guatemala.

VI. Marco teórico

A. Planificación urbana

La planificación urbana moldea la apariencia y el funcionamiento de las ciudades y comunidades. Se trata de un proceso complejo que implica una serie de etapas y aspectos fundamentales para crear entornos habitables y sostenibles.

Esta práctica consiste en la organización y disposición de infraestructuras, edificaciones, zonas verdes y servicios públicos en un área determinada. Para lograr comunidades funcionales y agradables, se deben tener en cuenta varios aspectos. La distribución de espacios residenciales, comerciales e industriales debe ser equitativa y eficiente, permitiendo el acceso fácil a las necesidades diarias, como escuelas, hospitales y centros de recreación. Además, la conectividad, tanto en términos de transporte público como de vías peatonales y ciclistas, es crucial para reducir la congestión y promover la movilidad sostenible. Esto implícitamente también conlleva a tomar en cuenta las necesidades de cada ambiente para tener un buen flujo de movimiento entre distintas distribuciones.

La sostenibilidad es un pilar central de la planificación urbana moderna. Integrar prácticas eco amigables, como la eficiencia energética, el uso de energías renovables, la gestión adecuada de residuos y la conservación de espacios naturales, ayuda a mitigar el impacto ambiental y preservar la biodiversidad en entornos urbanos. La incorporación de zonas verdes y parques ayuda a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

En última instancia, una planificación urbana adecuada y cuidadosa crea ciudades con bases sólidas para comunidades inclusivas, sostenibles y resilientes; en donde cada decisión tomada durante este proceso impacta la vida de las personas y el medio ambiente, subrayando la importancia de una planificación urbana bien informada y comprometida con el futuro.

1. Diseños sostenibles

Los diseños sostenibles en construcciones y urbanizaciones representan una evolución esencial en la forma en que desarrollamos nuestros entornos habitables. Estos diseños, fundamentados en la responsabilidad medioambiental y la eficiencia, son cruciales para mitigar el impacto negativo de las ciudades en nuestro planeta y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. (Castillo-García, R. F. 2020)

En el contexto de las urbanizaciones, los diseños sostenibles se basan en varios principios clave. La eficiencia energética es prioritaria, utilizando tecnologías como paneles solares y sistemas de climatización inteligentes para reducir el consumo de energía. La gestión eficaz del agua también es esencial, empleando sistemas de recogida de agua de lluvia y tecnologías de riego eficientes para conservar este recurso vital. Por otro lado, la incorporación de espacios verdes y áreas naturales no solo mejora la estética de las urbanizaciones, sino que también contribuye al bienestar de los residentes y fomenta la biodiversidad. Los diseños que promueven la movilidad sostenible, como calles peatonales y carriles para bicicletas, reducen la dependencia del automóvil y disminuyen las emisiones de carbono. También es importante la utilización de materiales de construcción sostenibles, como maderas certificadas y hormigón reciclado que ayudan a minimizar la huella de carbono y fomentan prácticas más responsables en la industria de la construcción. La inclusión de tecnologías de construcción verde, como aislamientos eficientes y ventanas de doble cristal, mejora la eficiencia energética de los edificios y crea un ambiente interior más cómodo.

En última instancia, los diseños sostenibles en construcciones y urbanizaciones no solo transforman paisajes urbanos, sino que también promueven un cambio cultural hacia un estilo de vida más consciente y ecológico. Al integrar estos principios en el tejido mismo de las ciudades y comunidades, se está construyendo un futuro donde se continúa marcando el camino hacia un mundo más sostenible y equitativo.

2. Eficiencia energética

La eficiencia energética es un pilar fundamental en el contexto de la planificación urbana y el diseño sostenible. Implica la gestión cuidadosa de nuestros recursos energéticos para maximizar la producción y minimizar el desperdicio, creando entornos urbanos que no solo son económicamente viables, sino también ecológicamente responsables.

En el diseño urbano, la eficiencia energética se logra a través de diversas estrategias. La orientación inteligente de edificios y estructuras para aprovechar la luz solar y la ventilación natural minimiza la necesidad de iluminación artificial y sistemas de climatización. Existen herramientas y mecanismos como la implementación de sistemas de iluminación LED de bajo consumo y sensores de movimiento asegura que la energía se utilice solo cuando sea necesario. (Boyle, G. 2019)

La integración de tecnologías como paneles solares fotovoltaicos y sistemas de energía eólica en edificaciones y espacios comunes genera electricidad de manera sostenible, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Además, la eficiencia energética se optimiza mediante el uso de materiales de construcción avanzados, como aislamientos térmicos y ventanas de alto rendimiento, que ayudan a regular la temperatura interior, reduciendo la necesidad de calefacción o refrigeración excesiva.

Los sistemas de gestión energética, combinados con técnicas de construcción que priorizan la hermeticidad y el sellado adecuado, minimizan las pérdidas de energía, asegurando que la electricidad y el calor se utilicen de manera efectiva. Además, el fomento de prácticas de conservación de energía, como la educación sobre el consumo responsable y la promoción de tecnologías eficientes, crea una cultura urbana que valora y respeta nuestros recursos energéticos. La eficiencia energética no solo reduce las facturas de energía para los habitantes y las comunidades, sino que también disminuye la huella de carbono y preserva nuestros recursos naturales.

3. Desarrollo inmobiliario

En cuanto al desarrollo inmobiliario, en su esencia, se trata de más que simplemente construir edificaciones. En la era moderna, el enfoque ha girado hacia el desarrollo inmobiliario sostenible, que se centra no solo en la construcción de estructuras, sino en la creación de entornos habitables y ecológicamente conscientes; se apoya en varios pilares. La eficiencia energética se ha convertido en una prioridad, así implementando distintas tecnologías y mecanismos para el desarrollo. La incorporación de espacios verdes y áreas naturales en los proyectos inmobiliarios no solo mejora la calidad de vida, sino que también preserva la biodiversidad local y actúa como pulmones verdes en entornos urbanos densos. Los desarrollos inmobiliarios sostenibles priorizan la movilidad sostenible, fomentando la caminata, el ciclismo y el acceso al transporte público para reducir la dependencia del automóvil y aliviar la congestión.

La tecnología juega un papel fundamental en el desarrollo inmobiliario moderno. Desde sistemas de automatización para una gestión eficiente de la energía hasta aplicaciones móviles que conectan a los residentes con servicios locales, la tecnología mejora tanto la eficiencia operativa como la experiencia del usuario en estas comunidades. En resumen, el desarrollo inmobiliario busca integrar principios sostenibles en cada etapa del proceso, desde el diseño hasta la construcción y la gestión.

B. Análisis de sitio

1. Movimiento del Sol y análisis solar

El movimiento del Sol a lo largo del año es un factor determinante en el diseño y ubicación de los paneles solares para maximizar la captación de energía. La radiación solar varía en función de la latitud, la estación del año y la hora del día, lo que afecta directamente el rendimiento del sistema fotovoltaico. Para estudiar el movimiento del Sol, herramientas como el Global Solar Atlas y aplicaciones especializadas como SunPath son esenciales.

Global Solar Atlas permite obtener datos sobre la radiación solar a nivel mundial y proporciona mapas detallados sobre la disponibilidad de luz solar en distintas regiones del mundo. Utilizar el Solar Atlas para un proyecto en Jalapa, Guatemala, permite obtener información precisa sobre las horas solares pico (HSP) y la intensidad de la radiación en la zona, lo que es crucial para calcular la producción de energía de los paneles.

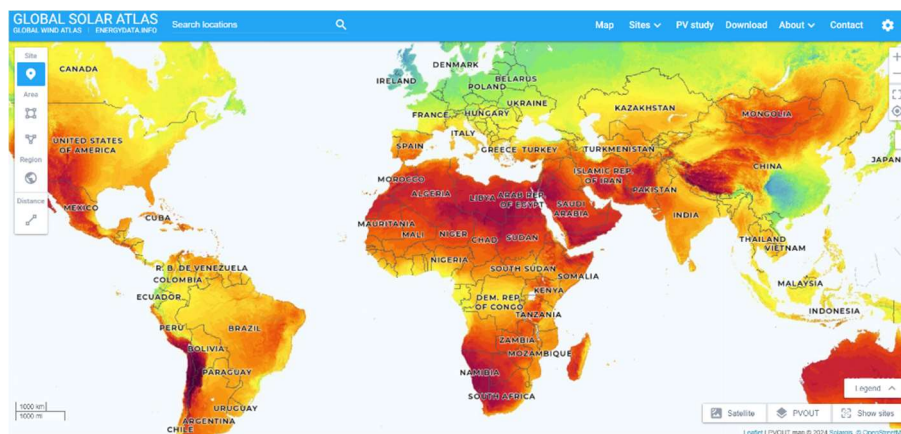


Figura 1. Interfaz Global Solar Atlas

Fuente: (Global Solar Atlas, 2024)

SunPath es una aplicación utilizada para visualizar el recorrido del Sol a lo largo del día y durante todo el año. Proporciona información detallada sobre la orientación solar, la elevación solar en distintos momentos del día y las proyecciones de sombras, lo cual es fundamental para optimizar la inclinación y orientación de los paneles solares. Con la ayuda de SunPath, es posible evaluar cómo varía la incidencia solar en función de la topografía del sitio y cómo las sombras generadas por la topografía o estructuras cercanas pueden afectar la eficiencia del sistema fotovoltaico. El análisis de sombras es crucial en la planificación urbana para evitar que edificios o elementos del terreno bloqueen la captación de energía solar, especialmente durante los meses de invierno cuando el Sol está en su punto más bajo.

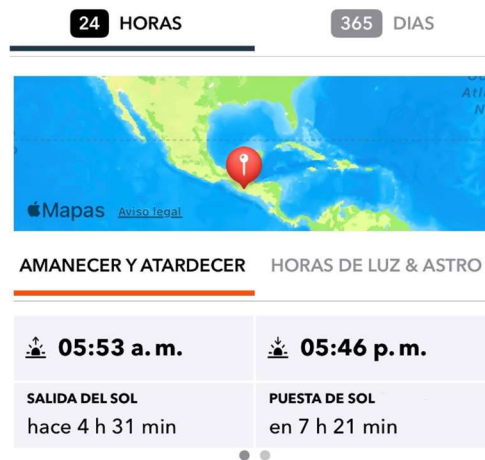
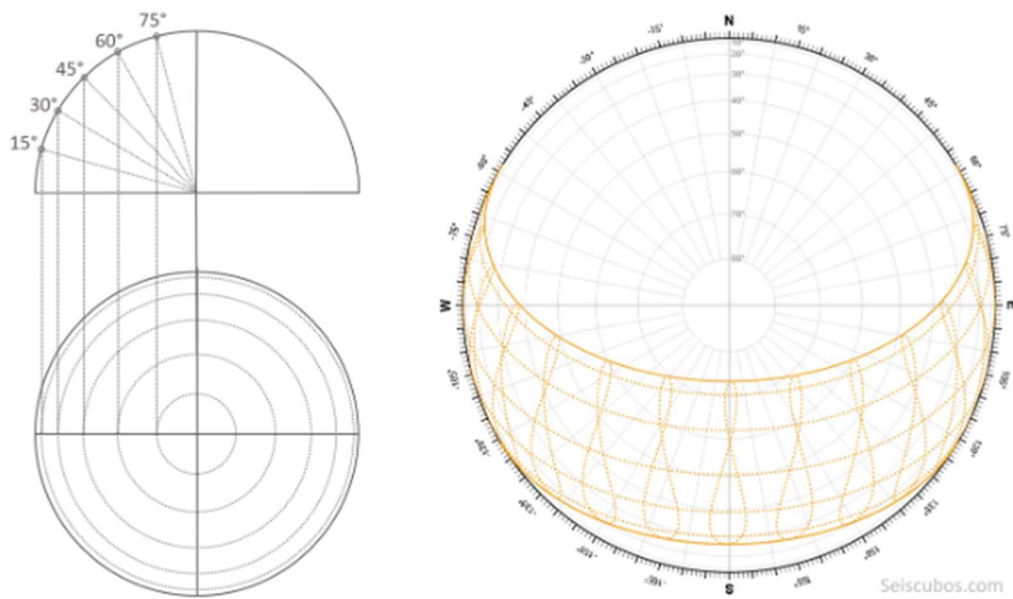


Figura 2. SunPath.

Fuente: (SunPath, 2024)

Con estas herramientas es posible obtener cartas solares que son un concepto importante para el análisis y desarrollo del estudio solar.



Gráfica 1. Carta solar.

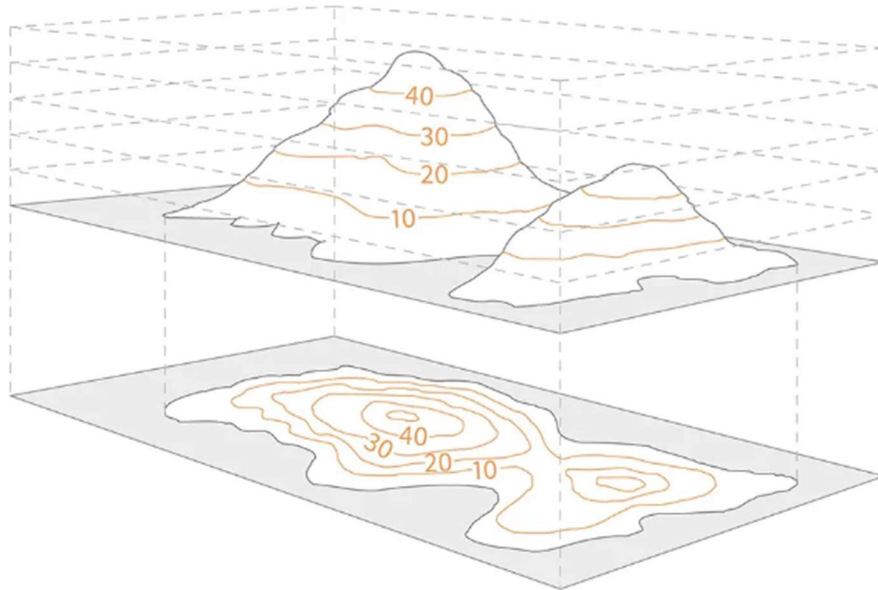
Fuente: (Seiscubos, 2022)

En la *Gráfica 1* se muestra una carta solar que muestra la trayectoria aparente del sol en el cielo en función de la orientación cardinal (Norte, Sur, Este, Oeste) y la elevación solar. Las curvas amarillas trazan las trayectorias del Sol en diferentes fechas del año, lo que permite visualizar cómo cambia su posición a lo largo del día en las distintas estaciones. El semicírculo ilustra los ángulos de elevación solar medidos desde el horizonte (0°) hasta el cenit (90°). Las líneas horizontales representan diferentes ángulos de elevación, como 15° , 30° , 45° , 60° , y 75° . Este tipo de gráfico se utiliza para entender cómo varía la altura del Sol en el cielo a lo largo del día en diferentes momentos del año, información clave para el diseño de sistemas solares fotovoltaicos y la orientación. (Amiri, A., Ottelin, J., & Sorvari, J. 2019)

2. Análisis topográfico y contexto de la urbanización

La topografía del terreno donde se desarrollará la urbanización juega un papel determinante tanto en la planificación de los espacios construidos como en la instalación de los paneles solares. En Jalapa, una región con montañas y valles, las características del terreno condicionan la ubicación de las viviendas y las áreas comunes. El análisis topográfico, que incluye la pendiente del terreno y su orientación, influye directamente en la captación de radiación solar y, por lo tanto, en la eficiencia energética de los paneles fotovoltaicos.

Un análisis topográfico detallado debe identificar los puntos más elevados y los valles, asegurando que las pendientes no generen sombras excesivas sobre las áreas donde se instalarán los paneles. Además, se debe considerar la orientación del terreno, ya que las superficies orientadas hacia el sur (en el hemisferio norte) son las que recibirán más radiación solar a lo largo del año.



Gráfica 2. Curvas de nivel.

Fuente (Gabri Veiga, 2024)

La *Gráfica 2* ilustra una representación topográfica utilizando curvas de nivel, una técnica fundamental en el análisis y la planificación de terrenos. Esta herramienta es ampliamente utilizada en estudios geográficos y en proyectos de construcción o infraestructura que requieren una comprensión detallada de las variaciones en la elevación del terreno, como es el caso de la instalación de sistemas solares. En la parte superior de la imagen, se muestra una vista tridimensional del terreno, donde se aprecian dos colinas. Las curvas de nivel siguen la forma del terreno y están etiquetadas con valores de altitud en intervalos de 10 unidades (10, 20, 30, 40), lo que permite visualizar la elevación de las distintas partes del terreno. Estas líneas indican que, a medida que se asciende por la colina, la altitud aumenta, siendo las curvas más cercanas entre sí un indicador de mayor pendiente.

En la proyección en planta, en la parte inferior de la imagen, se visualizan las mismas curvas de nivel, pero desde una perspectiva superior. Este enfoque es útil para obtener una visión clara de cómo se distribuyen las alturas a lo largo del terreno. Las curvas cerradas indican picos o áreas elevadas, mientras que las curvas más abiertas o separadas indican pendientes más suaves. Este tipo de representación en planta es esencial para evaluar la inclinación y la orientación del terreno, elementos críticos en proyectos que buscan optimizar el rendimiento de los paneles solares.

3. Normativa local

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Jalapa establece las reglas y directrices para el desarrollo urbano en la región. El POT regula aspectos como el uso del suelo, la densidad de construcción, las áreas de conservación, y los lineamientos para el diseño de infraestructuras. Cualquier proyecto de urbanización, incluyendo la instalación de un sistema de paneles solares, debe estar alineado con las normativas establecidas en el POT.

En el caso específico de Jalapa, el POT puede incluir restricciones sobre las alturas máximas permitidas, el uso de áreas verdes y la integración de infraestructuras energéticas dentro del desarrollo urbano. Estas normativas deben ser cuidadosamente evaluadas para asegurar que el proyecto no solo cumpla con los objetivos de eficiencia energética, sino que también se integre armoniosamente dentro del contexto urbano de Jalapa, respetando las normativas medioambientales y sociales locales.

C. Sostenibilidad

En el centro de la planificación urbana y el diseño de urbanizaciones sostenibles se encuentra el concepto de sostenibilidad. En términos generales esto representa un compromiso con la prosperidad a largo plazo, tanto para las generaciones presentes como para las futuras. La sostenibilidad se basa en varios aspectos interrelacionados que convergen en la construcción de un entorno donde las personas puedan vivir, trabajar y disfrutar de una calidad de vida inigualable sin poner en peligro el equilibrio ecológico.

La sostenibilidad exige la preservación de recursos valiosos, como el agua, la energía y la biodiversidad. Esta preservación es más que un acto de mera conservación; es una manifestación de responsabilidad, un reconocimiento de que estos recursos no son inagotables y que es imperativo gestionarlos con eficiencia. La eficiencia energética es una de las claves más importantes de la sostenibilidad, y su implementación en la planificación urbana implica la adopción de fuentes de energía renovable, la reducción del desperdicio energético y la integración de tecnologías de que minimicen el impacto ambiental. Además, la economía circular se erige como un principio en la construcción de urbanizaciones sostenibles. Este enfoque promueve la reutilización y el reciclaje de recursos en lugar de la extracción y la eliminación de estos, lo que resulta en una menor generación de residuos y menor demanda sobre la explotación de recursos naturales. (Pettit, T., & Berthold, J. 2019)

Sin embargo, la sostenibilidad no se trata únicamente de la conservación del medio ambiente. La equidad social es un componente importante. Una urbanización verdaderamente sostenible se proporciona igualdad de oportunidades a todos sus residentes, independientemente de su condición. Esto incluye el acceso a viviendas asequibles, educación de calidad, atención médica y empleos seguros.

Por estas razones, la sostenibilidad en el diseño y la planificación de urbanizaciones no se limita a la mera construcción de edificios y calles. Representa un enfoque integral y visionario para la construcción de un futuro donde el funcionamiento no esté en conflicto con la preservación de los recursos naturales.

La sostenibilidad ambiental se centra en preservar y proteger el entorno natural para las generaciones futuras. Esto implica reducir las emisiones de carbono, conservar la biodiversidad, gestionar los recursos hídricos y reducir al mínimo la contaminación. En el contexto urbano, esto se traduce en utilizar energías renovables, implementar prácticas de gestión de residuos efectivas y fomentar la movilidad sostenible. La sostenibilidad ambiental también incluye la planificación cuidadosa del uso del suelo para proteger áreas verdes, humedales y otros hábitats naturales, asegurando que las ciudades sean lugares donde la naturaleza coexista con la vida urbana.

La huella de carbono es una medida del impacto ambiental de una urbanización en términos de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan directa o indirectamente. Para el caso de los proyectos solares y de urbanización sostenible, la huella de carbono se utiliza para calcular la reducción de emisiones de CO₂ derivada de la implementación de energías renovables en lugar de fuentes tradicionales de energía, como los combustibles fósiles.

$$HC_{producción_variable} = (\text{número_de_variables} \times \text{huella_variable}) \text{ kg CO}_2$$

La huella de carbono de un proyecto se calcula generalmente en toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e), y toma en cuenta tanto las fases de construcción e implementación como las operaciones a lo largo del tiempo. Un diseño que integre paneles solares y otras tecnologías sostenibles puede reducir significativamente la huella de carbono de una urbanización, contribuyendo no solo a la eficiencia energética, sino también al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad ambiental. (Boyle, G. 2019)

1. Retorno de inversión

El Retorno de la Inversión (ROI) es un indicador financiero clave que permite medir la rentabilidad de una inversión en un proyecto de urbanización, en este caso, la instalación de sistemas fotovoltaicos y otras soluciones sostenibles. Esto es importante ya que para que un proyecto o propuesta sea verdaderamente atractiva y lógica necesita también de ser sostenible económicamente.

$$ROI(\%) = \frac{\textit{Ganancia neta de la inversión}}{\textit{Costo total de la inversión}} \times 100$$

En términos de sostenibilidad, un ROI positivo en la implementación de tecnologías energéticamente eficientes no solo asegura la viabilidad económica del proyecto, sino que también refuerza el valor de una urbanización que puede generar ahorro energético y a la vez ofrecer beneficios financieros a largo plazo. El cálculo del ROI permitirá justificar inversiones iniciales mayores en tecnologías sostenibles, destacando que, a lo largo de la vida útil del proyecto, los ahorros generados compensan con creces la inversión inicial, contribuyendo a la estabilidad económica de las viviendas y los residentes.

D. Huella ecológica

La huella ecológica representa el impacto ambiental en el entorno natural. Es una medida integral que evalúa el impacto en el mundo natural, desde el consumo de agua y alimentos hasta las emisiones de carbono y la cantidad de residuos que generamos. Esta huella es una herramienta vital para comprender cómo las acciones cotidianas afectan la salud del planeta. Esta analiza meticulosamente el uso de recursos. Evalúa cuánta tierra y agua es necesaria para cultivar alimentos, cuánta madera se utiliza en las construcciones y cuánta energía se consume en nuestras actividades diarias. En el contexto de la urbanización, esto significa calcular cuánto espacio urbano se utiliza para las viviendas y cómo esa huella se expande a medida que las ciudades crecen.

1. Emisiones

Las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de diversas fuentes, desde la quema de combustibles fósiles hasta la producción industrial. En el ámbito urbano, esto implica evaluar la cantidad de dióxido de carbono liberada por los vehículos, la industria y la energía utilizada en los edificios. Minimizar estas emisiones se convierte en un objetivo central para reducir nuestra huella ecológica y combatir el cambio climático.

La cantidad de residuos que generamos también contribuye significativamente a la huella ecológica. Evaluar cómo se gestionan los desechos, desde el reciclaje hasta la disposición final, es esencial. En las urbanizaciones sostenibles, se enfoca en reducir la cantidad de residuos generados y fomentar prácticas de reciclaje efectivas, asegurando que los desechos se manejen de manera responsable y sostenible. Para esto es importante tener una estructura de reciclaje y de separación de basura sólida para promover una economía circular.

El entendimiento y reducción de la huella ecológica son cruciales para construir un futuro sostenible. Esto implica reducir el consumo excesivo, adoptar tecnologías más eficientes y fomentar prácticas de vida más conscientes, permitiendo así que los ecosistemas se regeneren y prosperen. La huella ecológica no es solo una métrica; es una guía que lleva hacia prácticas más responsables y un equilibrio con la utilización de los recursos naturales.

E. Energía renovable

En el centro de la revolución energética y la búsqueda de prácticas sostenibles, las energías renovables se elevan como la respuesta a los desafíos ambientales y la transición hacia un futuro más sostenible. Estas fuentes de energía, a diferencia de los recursos no renovables, son más sostenibles y son esenciales para reducir nuestra dependencia de combustibles fósiles, mitigando así los impactos negativos en el medio ambiente y abordando el cambio climático.

Dentro de las energías renovables, la solar se erige como un faro destacado. La captura de la radiación solar mediante paneles fotovoltaicos convierte la luz del Sol en electricidad, proporcionando una fuente limpia y abundante de energía. Acompañando a esta, la energía eólica aprovecha la fuerza del viento mediante aerogeneradores, transformándola en energía eléctrica de manera eficiente. Por otro lado, la hidroeléctrica utiliza el flujo del agua para generar electricidad, destacándose como una fuente estable y sostenible.

La importancia de estas fuentes no solo radica en su naturaleza renovable, sino también en su capacidad para reducir la huella ecológica. La generación de energía a partir de recursos minimiza la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación asociada con los combustibles fósiles, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y la preservación de la calidad del aire.

La implementación de energías renovables en construcciones y proyectos urbanos se ha convertido en un estándar en la búsqueda de sostenibilidad. Paneles solares integrados en edificaciones no solo generan electricidad, sino que también sirven como elementos arquitectónicos. Además, la adopción de turbinas eólicas en entornos urbanos y rurales demuestra la versatilidad de estas fuentes de energía, transformando el paisaje urbano y rural. No obstante, la transición completa hacia energías renovables no es solo una cuestión técnica, sino también una de conciencia y política, como lo pueden ser incentivos gubernamentales, regulaciones amigables con el medio ambiente y la concienciación pública desempeñan un papel crucial en este cambio de paradigma energético. (Boyle, G. 2019)

En la búsqueda de un futuro sostenible, los recursos naturales desempeñan un papel crucial. La energía renovable, derivada de fuentes naturales, se ha convertido en un pilar central para las estrategias de sostenibilidad. En conclusión, las energías renovables representan un aspecto clave en la búsqueda de una matriz energética más limpia y sostenible. Su implementación no solo transforma la forma en que obtenemos y consumimos energía, La elección de fuentes de energía sostenibles no solo responde a la necesidad urgente de abordar el cambio climático, sino que también nos encamina hacia un futuro donde la energía sea abundante, limpia y accesible para todos.

F. Energía solar

La energía solar aprovecha la radiación del Sol para generar electricidad a través de células fotovoltaicas. Estas células transforman la luz solar directamente en electricidad, proporcionando una fuente limpia y abundante de energía. Cuando la luz del Sol incide sobre estas células, promueve los electrones, creando corriente eléctrica. Esta corriente pasa a través de un inversor que la convierte en electricidad de corriente alterna, lista para su uso en hogares y negocios. Los paneles solares se pueden instalar en tejados, terrenos y estructuras diversas para capturar la energía solar y convertirla en electricidad, lo que la convierte en una opción altamente versátil y respetuosa con el medio ambiente. (Goldemberg, J. 2012)

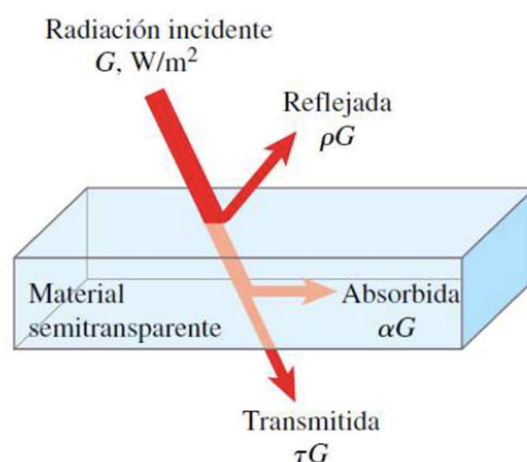


Figura 3. Descomposición de radiación.

Fuente (Anta Fernández, 2021)

En la *Figura 3* presentada ilustra el comportamiento de la radiación solar cuando incide sobre un material semitransparente. La radiación incidente, representada por G (en W/m^2), interactúa con el material y se descompone en tres componentes principales:

Radiación reflejada: Una parte de la radiación solar es reflejada por la superficie del material. Esta cantidad de radiación reflejada está dada por ρG , donde ρ es el coeficiente de reflectancia del material. Este valor depende de las propiedades del material y su capacidad para reflejar la radiación solar incidente.

Radiación absorbida: Otra porción de la radiación solar es absorbida por el material, lo cual está representado por αG , donde α es el coeficiente de absorción del material. Esta radiación absorbida contribuye al calentamiento del material y su entorno.

Radiación transmitida: Finalmente, el material también permite que una parte de la radiación pase a través de él, denominada radiación transmitida, representada por τG . El valor τ es el coeficiente de transmisión del material, el cual indica cuánta radiación logra atravesar el material semitransparente.

La suma de estas tres fracciones refleja el balance de energía al incidir la radiación solar sobre el material. Es decir, la radiación incidente G se divide entre la radiación reflejada, absorbida y transmitida, cumpliendo la relación. (Goldemberg, J. 2012)

1. Condiciones necesarias y equipamiento esencial

Para la energía solar, se necesita un área expuesta al Sol durante la mayor parte del día. Los paneles solares pueden ser montados en tejados, en estructuras elevadas o en el suelo. Además, se requieren inversores para convertir la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna utilizable en hogares y empresas.

Integrar esta tecnología en una red eléctrica equilibrada y confiable implica también la implementación de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para asegurar un suministro estable incluso en ausencia de Sol. La combinación adecuada de estos elementos, junto con la planificación cuidadosa y la consideración de las condiciones locales, es esencial para aprovechar al máximo la energía y solar en la búsqueda de un futuro sostenible.

La integración de estas tecnologías de energía renovable no solo diversifica la matriz energética, sino que también reduce la dependencia de los combustibles fósiles y contribuye significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. A medida que se avanza hacia un futuro más sostenible, la utilización de energía solar se perfila como una estrategia clave para impulsar sociedades sostenibles.

G. Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos diseñados para convertir la energía solar en electricidad. Existen varios tipos de paneles fotovoltaicos, siendo los más comunes los de silicio monocristalino, silicio policristalino y película delgada.

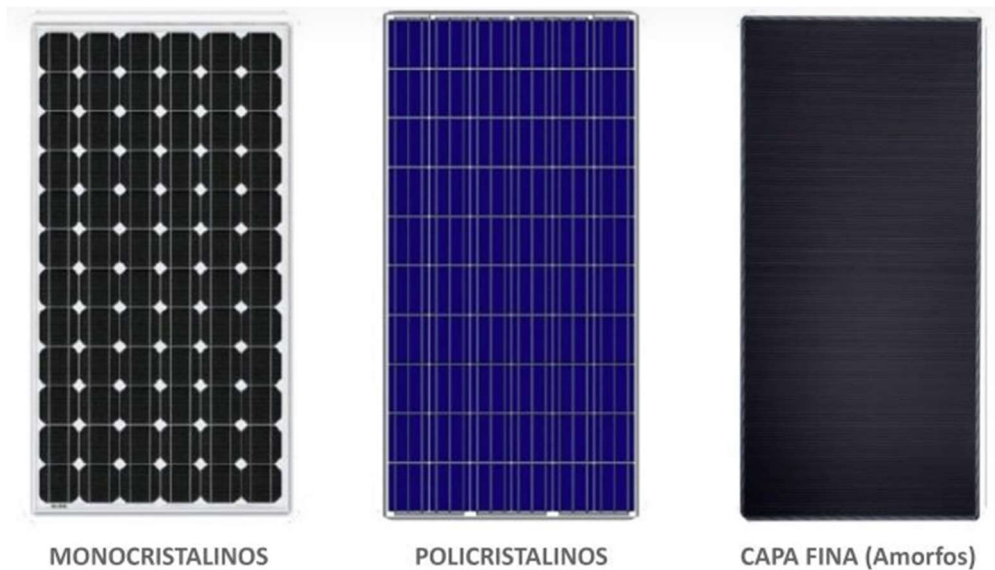


Figura 4. Tipos de paneles solares.

Fuente (Tritec, 2017)

1. Panel policristalino

Los paneles solares policristalinos, se emplean como una de las tecnologías más comunes en el mercado solar y se caracterizan por estar hechos de múltiples celdas solares que provienen de múltiples fragmentos de silicio. A diferencia de los paneles monocristalinos, que están hechos de un solo cristal de silicio, los policristalinos se fabrican fundiendo varias piezas de silicio juntas. Esto da como resultado un material menos uniforme, tanto en apariencia como en estructura, lo que puede afectar la eficiencia del panel. El proceso de fabricación de los paneles policristalinos es menos costoso, ya que no se requiere la misma precisión para formar un solo cristal. Debido a esta diferencia, los paneles policristalinos suelen ser una opción más económica.

En términos de eficiencia, los paneles policristalinos generalmente tienen una tasa de conversión de entre el 15% y el 18%, lo que es inferior a la de los paneles monocristalinos. La menor eficiencia se debe a que los electrones tienen más dificultades para moverse a través de los múltiples cristales en comparación con el flujo continuo que se obtiene en un panel monocristalino. A pesar de esto, los policristalinos siguen siendo una opción viable en proyectos donde el presupuesto es una preocupación mayor que la eficiencia. Además, al ser más económicos, suelen ser elegidos para grandes instalaciones solares donde el costo por panel es un factor determinante. (Hernández, A. 2021)

El aspecto visual de los paneles policristalinos también es distintivo, ya que tienen un color azul moteado causado por la forma en que se refleja la luz en los cristales múltiples. Esta diferencia estética los hace menos atractivos en algunos casos, especialmente en proyectos residenciales donde la apariencia puede ser un factor importante. Sin embargo, su durabilidad es comparable a la de los paneles monocristalinos, con una vida útil de 20 a 25 años y una degradación de rendimiento que se mantiene dentro de los rangos aceptables para sistemas de energía solar a largo plazo. En resumen, los paneles policristalinos son una opción confiable y rentable para proyectos solares de gran escala, aunque sacrifican algo de eficiencia a cambio de un menor costo de producción.

2. Panel monocristalino

Los paneles solares monocristalinos son conocidos por ser la opción más eficiente entre las diferentes tecnologías de paneles solares. Están hechos de un solo cristal de silicio puro, lo que les otorga una estructura altamente ordenada que facilita el movimiento de los electrones a través de las células solares. Esto se traduce en una mayor eficiencia en la conversión de luz solar en electricidad. Los paneles monocristalinos suelen tener una tasa de eficiencia de entre 19% y 22%, lo que significa que generan más electricidad en comparación con los paneles policristalinos en las mismas condiciones. (Hernández, A. 2021)

El proceso de fabricación de los paneles monocristalinos es más complejo y costoso que el de los policristalinos, ya que implica la creación de un único cristal de silicio a partir del proceso de crecimiento de cristales. Este proceso asegura una estructura uniforme dentro de cada célula, lo que mejora el flujo de los electrones y reduce las pérdidas internas. Como resultado, los paneles monocristalinos no solo son más eficientes, sino que también tienen un mejor rendimiento en condiciones de baja radiación solar, como en días nublados o al amanecer y atardecer.

Desde un punto de vista estético, los paneles monocristalinos son fácilmente reconocibles por su color negro uniforme, lo que los hace más atractivos para aplicaciones residenciales y comerciales donde la apariencia es un factor importante. Además de su alta eficiencia, los paneles monocristalinos tienen una mayor durabilidad y generalmente vienen con garantías más largas, que pueden llegar a ser de 25 a 30 años. Su tasa de degradación es más baja que la de los paneles policristalinos, lo que significa que mantienen su capacidad de generación de energía durante un período más largo. Este aspecto hace que los paneles monocristalinos sean una excelente opción para proyectos a largo plazo, donde la inversión inicial más alta se justifica por los ahorros energéticos a lo largo del tiempo.

En proyectos como la urbanización en Jalapa, los paneles monocristalinos serían una opción ideal debido a su alta eficiencia y su capacidad para generar más energía en un espacio limitado, lo cual es un factor crucial cuando el espacio disponible para la instalación de paneles solares es reducido. Además, su capacidad para operar bien en condiciones de baja luz asegura una producción estable de energía durante todo el año, independientemente de las variaciones climáticas.

3. Panel de silicio amorfo (película delgada)

Los paneles solares de silicio amorfo, también conocidos como paneles de película delgada, representan una tecnología más reciente y menos utilizada en comparación con los paneles de silicio cristalino. A diferencia de los paneles monocristalinos y policristalinos, que están hechos de cristales de silicio, los paneles de película delgada utilizan una capa extremadamente delgada de material fotovoltaico, como el silicio amorfo, que se deposita sobre una base flexible. Este método de fabricación permite producir paneles más ligeros y flexibles que pueden adaptarse a superficies irregulares o curvas, lo que los hace útiles en aplicaciones donde el peso y la flexibilidad son cruciales.

Sin embargo, la eficiencia de los paneles de silicio amorfo es considerablemente menor que la de los paneles cristalinos. Generalmente, la eficiencia de estos paneles se encuentra entre 10% y 12%, lo que significa que requieren más espacio para generar la misma cantidad de energía que los paneles monocristalinos o policristalinos. Esta baja eficiencia se debe a que el silicio amorfo tiene una estructura atómica menos ordenada, lo que dificulta el movimiento de los electrones y, por lo tanto, reduce la eficiencia en la conversión de luz solar en electricidad. (Hernández, A. 2021).

Otra desventaja de los paneles de silicio amorfo es su vida útil más corta. A diferencia de los paneles de silicio cristalino, que pueden durar hasta 30 años, los paneles de película delgada tienen una vida útil más corta y suelen degradarse más rápidamente, lo que significa que su capacidad de generación de energía disminuye más rápido con el tiempo. Además, son menos resistentes a las condiciones climáticas adversas y pueden requerir un mantenimiento más frecuente.

A pesar de sus desventajas, los paneles de silicio amorfo son una opción viable en aplicaciones específicas donde la flexibilidad, el peso ligero y el costo bajo son factores más importantes que la eficiencia energética. Por ejemplo, se utilizan en superficies no convencionales o en aplicaciones móviles, como paneles solares portátiles. Sin embargo, para proyectos de mayor escala, como urbanizaciones o instalaciones comerciales que requieren una alta producción de energía, los paneles de silicio amorfo no son la mejor opción debido a su baja eficiencia y su vida útil limitada.

Al elegir paneles fotovoltaicos, es importante considerar varios factores, como la eficiencia, la durabilidad y el costo. También es crucial evaluar el rendimiento de los paneles en condiciones específicas de su ubicación, como la radiación solar disponible y la inclinación del techo. Además, se deben tener en cuenta aspectos relacionados con la instalación, como la orientación, la inclinación y la sombra potencial, para maximizar el rendimiento del sistema.

H. Sistemas de abastecimiento

Los sistemas de abastecimiento fotovoltaico son componentes clave en la infraestructura que permite distribuir la energía generada por los paneles solares a los consumidores finales. Estos sistemas convierten la radiación solar en electricidad mediante celdas fotovoltaicas que producen corriente continua (CC), la cual puede almacenarse en baterías o bien ser convertida directamente en corriente alterna (CA) mediante inversores para su uso en aplicaciones residenciales, comerciales o industriales. La eficiencia y confiabilidad de un sistema fotovoltaico dependen en gran medida de cómo los paneles solares están conectados entre sí. La configuración de los paneles en serie o paralelo determina el comportamiento del voltaje y la corriente dentro del sistema, lo que influye directamente en su capacidad para alimentar diferentes tipos de cargas o integrarse con redes eléctricas ya existentes. Estas configuraciones no solo afectan el rendimiento del sistema, sino también su diseño, costo y adaptabilidad a distintas aplicaciones energéticas. (Arencibia-Carballo, G. 2016)

En los sistemas fotovoltaicos, la forma en que los paneles solares se conectan entre sí influye directamente en el rendimiento del sistema y en cómo se adapta a las necesidades de energía y al diseño eléctrico general. Existen dos tipos principales de conexión para los paneles solares: conexión en serie y conexión en paralelo. Ambos tipos de conexión tienen ventajas y desventajas dependiendo de las características del sistema y del tipo de aplicación, y es fundamental entender cómo cada configuración afecta los parámetros eléctricos, tales como el voltaje, la corriente y la potencia del sistema.

Los paneles solares pueden conectarse en serie o en paralelo, dependiendo de las necesidades del sistema en cuanto a voltaje y corriente.

En la configuración en serie, los paneles solares se conectan de tal manera que el voltaje total es la suma de los voltajes de cada panel, mientras que la corriente se mantiene constante. En la configuración en paralelo, los paneles se conectan para mantener el mismo voltaje, pero sumando las corrientes generadas por cada panel, lo que impacta la forma en que la energía se entrega y almacena en el sistema fotovoltaico.

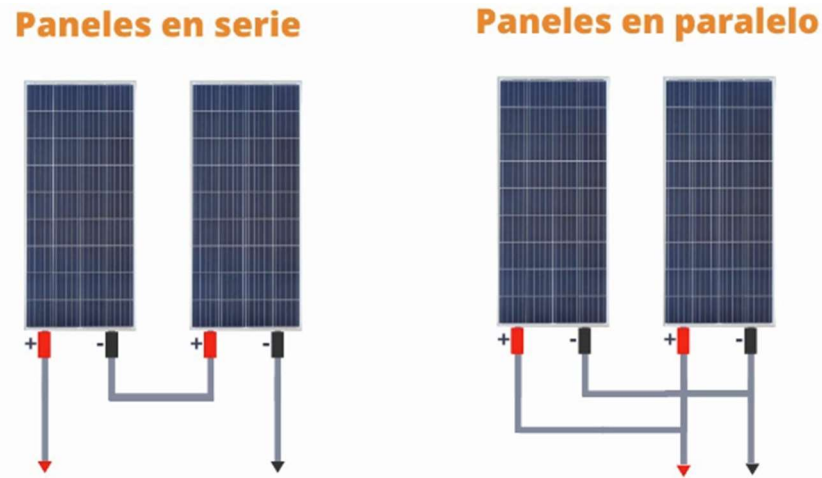


Figura 5. Conexión de paneles solares.

Fuente: (Atersa, 2023)

1. Conexión en serie

Conexión en serie: El voltaje total del sistema es la suma de los voltajes de cada panel, mientras que la corriente permanece constante.

$$V_{total} = N \times V_{panel}$$

En donde:

V_{total} = Voltaje total del sistema (V).

N = Número de paneles conectados en serie.

V_{panel} = Voltaje de cada panel (V).

2. Conexión en paralelo

Conexión en paralelo: La corriente total es la suma de las corrientes generadas por cada panel, mientras que el voltaje permanece constante.

$$I_{total} = N \times I_{panel}$$

En donde:

I_{total} = Corriente total del sistema (A).

N = Número de paneles conectados en paralelo.

I_{panel} = Corriente generada por cada panel (A).

Estas fórmulas son fundamentales para el diseño del sistema eléctrico y están cubiertas por normativas como el NEC (National Electrical Code). Deben añadirse al Marco Teórico en una sección sobre Conexión y Configuración Eléctrica de Sistemas Fotovoltaicos.

3. Tipos de sistemas solares fotovoltaicos

4. Sistemas aislados

Un sistema fotovoltaico aislado, también conocido como sistema autónomo o fuera de la red, es una instalación de paneles solares que no está conectada a la red eléctrica local.

Este tipo de sistema consta de paneles solares fotovoltaicos, baterías de almacenamiento, reguladores de carga, inversores y otros componentes necesarios para capturar, almacenar y utilizar la energía solar de manera independiente.

- Los paneles solares fotovoltaicos son el componente principal del sistema, encargados de convertir la luz solar en electricidad.
- Las baterías de almacenamiento son fundamentales en los sistemas aislados, ya que almacenan la energía generada durante el día para su uso durante la noche o en momentos de baja radiación solar.
- Los reguladores de carga controlan el flujo de energía entre los paneles solares.
- Las baterías, actúan asegurando una carga óptima y protegiendo los equipos contra sobrecargas o descargas excesivas. Los inversores transforman la corriente continua.

5. Sistemas interconectados

Un sistema de paneles solares interconectado a una red eléctrica local consiste en una instalación fotovoltaica conectada a la red de suministro eléctrico convencional de una determinada área geográfica. Este sistema se compone principalmente de paneles solares fotovoltaicos, inversores de corriente, dispositivos de monitoreo y control, y una conexión a la red eléctrica local.

Los paneles solares fotovoltaicos, que capturan la luz solar y la convierten en electricidad, son el elemento central del sistema. Los inversores de corriente convierten la corriente continua. Los dispositivos de monitoreo y control permiten supervisar y gestionar el rendimiento del sistema, así como optimizar su eficiencia y seguridad.

Al estar conectado a la red eléctrica local, el sistema permite la compensación de la energía generada en exceso, lo que puede traducirse en créditos energéticos o ingresos adicionales para el propietario del sistema.

I. Inversores

Los inversores son componentes esenciales en un sistema de generación de energía solar. Su función principal es convertir la corriente continua (CC), que es la forma de electricidad producida por los paneles solares, en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los electrodomésticos y redes eléctricas. Este proceso de conversión es fundamental para integrar la energía generada por los paneles solares en el sistema eléctrico de la vivienda o proyecto. (Lopes, J. A., & Moreira, C. L. 2008)

En el contexto de un proyecto de energía fotovoltaica, los inversores juegan un rol crucial al asegurar que la energía producida por los paneles solares pueda ser utilizada de manera eficiente y segura por los usuarios. Además, muchos inversores modernos incluyen sistemas de monitoreo que permiten supervisar el rendimiento de la instalación solar, lo que facilita el mantenimiento y la optimización del sistema.

La selección adecuada del inversor es vital para el rendimiento general del sistema fotovoltaico, ya que su capacidad debe estar alineada con la producción de energía de los paneles solares. Un inversor mal dimensionado puede resultar en pérdidas de energía o sobrecargas, afectando negativamente la eficiencia del sistema. Por ello, en el diseño de proyectos solares, es importante evaluar diferentes modelos de inversores y seleccionar aquel que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto en términos de capacidad, eficiencia y fiabilidad.

J. Diseño de sistemas fotovoltaicos

1. Demanda energética

La demanda energética es uno de los conceptos fundamentales en el diseño y planificación de cualquier proyecto de infraestructura, especialmente en aquellos que buscan optimizar el uso de recursos energéticos. Se refiere a la cantidad total de energía requerida para abastecer las necesidades de un sistema o instalación específica, ya sea una vivienda, un conjunto residencial o cualquier tipo de edificación. Esta demanda se ve afectada tanto por el número de equipos conectados como por el tiempo de uso de cada uno, lo que la convierte en una variable crucial para garantizar la eficiencia energética y sostenibilidad de cualquier proyecto.

Cálculo de consumo energético de tomacorrientes

Cada equipo eléctrico conectado a un sistema de tomacorrientes consume una cantidad específica de energía, que depende de su potencia (expresada en vatios o kilovatios) y del tiempo de uso. Este consumo se puede estimar mediante la fórmula:

$$\text{Demanda (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Tiempo de uso (horas)}$$

En el caso de una vivienda, la demanda de energía de los tomacorrientes varía según los electrodomésticos que se utilicen. Equipos como refrigeradoras, estufas, lavadoras, secadoras y computadoras tienen diferentes potencias y horarios de uso, lo que contribuye a la variabilidad de la demanda total. Por ejemplo, una refrigeradora tiene un consumo constante durante todo el día, mientras que otros electrodomésticos, como las planchas o secadoras, tienen un uso más esporádico.

De manera similar a los tomacorrientes, las luminarias representan una porción significativa de la demanda energética de una vivienda. La eficiencia de las luminarias depende del tipo de bombilla utilizada (LED, incandescente, etc.), su potencia y las horas de funcionamiento. El cálculo de la demanda para luminarias sigue el mismo principio que para los tomacorrientes, usando la potencia y las horas de uso para obtener el consumo en kilovatios-hora (kWh). (García-Olivares, A. 2015).

La eficiencia energética de una vivienda se ve afectada por la selección de equipos eficientes en términos de consumo y por la optimización de su tiempo de uso. Las luminarias LED, por ejemplo, consumen significativamente menos energía que las bombillas incandescentes tradicionales, y su adopción puede reducir considerablemente la demanda total de la vivienda.



Figura 6. Comparación de bombillas.

Fuente: (El Cortijo, 2019)

El cálculo de la demanda energética total, que incluye tanto los tomacorrientes como las luminarias, es esencial para dimensionar correctamente la infraestructura de suministro energético de la vivienda. Este cálculo también permite determinar el tamaño adecuado del sistema de generación de energía, como los paneles solares, para cubrir las necesidades energéticas de manera eficiente. Además, conocer la demanda energética es clave para identificar posibles oportunidades de mejora en la eficiencia, lo que puede traducirse en un menor consumo de energía y una reducción de los costos a largo plazo.

2. Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico

a. Factor de forma

El Factor de Forma (FF) es un parámetro que mide la eficiencia con la que un panel fotovoltaico convierte la energía solar en electricidad bajo su punto de máxima potencia. Se calcula utilizando las corrientes y voltajes medidos tanto en las condiciones de máxima potencia como en condiciones extremas (cortocircuito y circuito abierto). Es un indicador de la calidad del panel en términos de su capacidad para generar energía utilizable.

La fórmula para calcular el FF es:

$$FF = \frac{I_{MPP} V_{MPP}}{I_{SC} V_{OC}}$$

Donde:

IMPP: Corriente en el punto de máxima potencia.

VMPP: Voltaje en el punto de máxima potencia.

SC: Corriente de cortocircuito.

VOC: Voltaje en circuito abierto.

b. Horas solares pico

La fórmula para calcular las Horas Solares Pico (HSP) permite estimar cuántas horas por día, en promedio, la irradiancia solar alcanza el equivalente a 1,000 W/m², que es la referencia estándar para la máxima irradiancia solar directa. Esta fórmula es esencial para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, ya que relaciona la irradiación solar del sitio con el número de horas efectivas de aprovechamiento solar.

$$HSP = \frac{\text{irradiación solar}}{1,000 \text{ W/m}^2} \left(\frac{\text{horas}}{\text{día}} \right)$$

Las HSP varían dependiendo de la latitud, estación del año, condiciones atmosféricas y el sitio específico del proyecto.

Irradiación solar: Este término se refiere a la cantidad de energía solar recibida en una unidad de área durante un período de tiempo. Se mide en W/m^2 y depende de las condiciones atmosféricas y geográficas. Los valores típicos pueden ir desde los $600 W/m^2$ hasta más de $1,000 W/m^2$ dependiendo de la región. (García-Olivares, A. 2015).

c. Energía anual generada

Una de las fórmulas recurrentes en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos es la de energía anual generada por el sistema en función de los paneles instalados y las condiciones locales.

$$E_{\text{anual}} (\text{kWh/año}) = N \times P_{\text{módulo}} (\text{kW}) \times HSP (\text{horas/día}) \times D (\text{días/año})$$

Esta fórmula desglosa la energía total en función de las horas solares pico. HSP es un parámetro que se calcula localmente y varía dependiendo de la ubicación geográfica. El factor N toma en cuenta cuántos paneles solares están instalados, y el P modulo indica la potencia de salida de cada panel bajo condiciones estándar y D corresponde a los 365 días del año.

Es ampliamente utilizada en la industria solar para calcular la producción de energía de un sistema fotovoltaico. La referencia de esta fórmula se encuentra en múltiples guías prácticas y normativas, como la IEC 61215 y la NEC.

d. Temperatura de célula

En el diseño de sistemas fotovoltaicos, es fundamental tener en cuenta cómo la temperatura afecta el rendimiento de los módulos solares. Las células fotovoltaicas se calientan al recibir radiación solar, y este aumento en la temperatura reduce su eficiencia. Para evaluar este impacto, hay dos fórmulas clave, una para calcular la temperatura de la célula fotovoltaica y otra para calcular la pérdida de potencia debido a esta temperatura. Moser, D., Auer, R., & Spertino, F. (2018)

La temperatura de la célula fotovoltaica no es simplemente la temperatura ambiente, sino que depende de factores como la irradiancia solar y las propiedades del panel. Para determinar la temperatura de la célula se utiliza la siguiente fórmula:

$$T_{\text{célula}} (\text{°C}) = T_{\text{ambiente}} (\text{°C}) + (T_{\text{NOCT}} (\text{°C}) - 20 \text{ °C}) \times \left(\frac{G (\text{W/m}^2)}{800 \text{ W/m}^2} \right)$$

Donde:

$T_{\text{célula}}$: Es la temperatura de la célula fotovoltaica (°C), que afecta directamente la eficiencia del panel.

Tambiente: Es la temperatura ambiente del lugar de instalación (°C).

TNOCT: Es la temperatura nominal de operación de la célula

G: Es la irradiancia solar sobre el panel (W/m²), que depende de las condiciones solares del sitio.

800 W/m²: Este es el valor de referencia de irradiancia utilizado en las condiciones de prueba estándar.

Una vez que conocemos la temperatura de la célula, podemos calcular la pérdida de potencia, voltaje y corriente del panel debido a la temperatura. La eficiencia de los paneles solares disminuye cuando la temperatura de las células aumenta por encima de 25°C. Estas pérdidas se pueden estimar usando el coeficiente de temperatura proporcionado por el fabricante:

Valor máximo de potencia *in situ*:

$$P_{\text{PMT célula}} (\text{W}) = P_{\text{PM STC}} (\text{W}) \times \left(1 + \frac{g (\text{W/°C})}{100} \times (T_{\text{célula}} (\text{°C}) - 25 \text{ °C}) \right)$$

Donde:

PPM T célula es la potencia máxima ajustada por la temperatura de la célula.

PPM stc es la potencia máxima bajo condiciones estándar (STC).

g es el coeficiente de temperatura para la potencia máxima.

Tcélula es la temperatura de la célula (en °C).

Valor máximo de corriente *in situ*:

$$I_{\text{mpp T}} (\text{A}) = I_{\text{mpp STC}} (\text{A}) \times \left(1 + \frac{\alpha (\%/^{\circ}\text{C})}{100} \times (T_{\text{célula}} (^{\circ}\text{C}) - 25 ^{\circ}\text{C}) \right)$$

Donde:

$I_{\text{mpp T}}$ es la corriente de máxima ajustada por la temperatura de la célula.

$I_{\text{mpp stc}}$ es la corriente de cortocircuito bajo condiciones estándar (STC).

α es el coeficiente de temperatura para la corriente de cortocircuito.

$T_{\text{célula}}$ es la temperatura de la célula (en $^{\circ}\text{C}$).

Valor máximo de voltaje *in situ*:

$$V_{\text{mpp T}} (\text{V}) = V_{\text{mpp STC}} (\text{V}) \times \left(1 + \frac{\beta (\%/^{\circ}\text{C})}{100} \times (T_{\text{célula}} (^{\circ}\text{C}) - 25 ^{\circ}\text{C}) \right)$$

Donde:

$V_{\text{mpp T}}$ es el voltaje máximo ajustado por la temperatura de la célula.

$V_{\text{mpp stc}}$ es el voltaje en circuito abierto bajo condiciones estándar (STC).

β es el coeficiente de temperatura para el voltaje.

$T_{\text{célula}}$ es la temperatura de la célula (en $^{\circ}\text{C}$).

e. Número de módulos fotovoltaicos

Para determinar el número de paneles solares o módulos fotovoltaicos que se requieren para cubrir una demanda energética específica, se utiliza la fórmula siguiente:

$$\text{Número de módulos} = \frac{E (\text{kWh/día}) \times FS (\text{factor de seguridad})}{P (\text{kW}) \times HSP (\text{h/día})}$$

En donde E corresponde a la energía consumida en el sitio de estudio (kW/día)

FS corresponde al factor de seguridad (1.2-1.3) determinado por recomendación de IEC (International Electrotechnical Code).

P corresponde a potencia nominal en el punto máximo del módulo FV (kW)

HSP corresponde a horas solar pico en el sitio de estudio (h/día)

f. Proyección de sombras

Las sombras pueden ser un problema significativo para un sistema fotovoltaico (FV) porque bloquean la radiación solar que los paneles necesitan para generar electricidad. Incluso una pequeña sombra sobre una parte del panel puede reducir de manera desproporcionada su producción. Los paneles que están interconectados en serie se ven afectados por la reducción de la luz solar que recibe un panel afecta negativamente a toda la cadena de módulos conectados, disminuyendo así la eficiencia general del sistema. Además, las sombras pueden causar puntos calientes que dañan los módulos con el tiempo, lo que afecta la longevidad y el rendimiento del sistema FV.

Para evitar que una fila de paneles solares proyecte sombra sobre otra, se utiliza la fórmula de la proyección de sombras, que nos permite calcular el espaciamiento adecuado entre filas de paneles.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

La fórmula desglosa cómo (d) la distancia entre filas de paneles (en metros), la altura del borde superior del panel desde el suelo (h) en metros y la latitud del sitio en grados. A mayor ángulo solar, menor será la longitud de la sombra, y, por lo tanto, menor será la distancia necesaria entre filas de paneles. (Lappalainen, V. 2017).

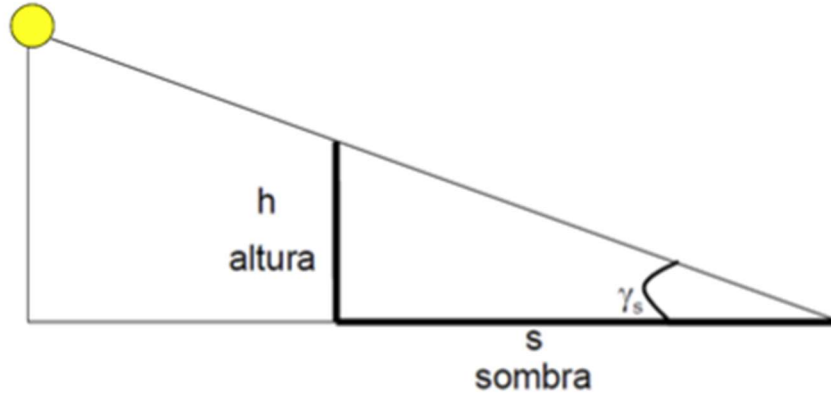


Figura 7. Proyección de sombra.

Fuente: (Emir González, 2017)

Se cuenta con la *Tabla 1* que ofrece una guía simplificada para calcular el ángulo de inclinación de los paneles solares en función de la latitud del sitio donde se instalarán.

Latitud del lugar (en grados)	Angulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5°
30° a 35°	Latitud más 10°
35° a 40°	Latitud más 15°
40° o más	Latitud más 20°

Tabla 1. Guía de ángulo de panel.

Fuente (Solar Verde, 2022)

De la misma forma, se cuenta con la siguiente ecuación más específica sobre ángulos de inclinación donde se toma en cuenta la latitud (ϕ) y declinación solar (δ) en un día específico del año.

$$\theta_{opt} = \arctan \left(\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta)} \right)$$

Para un sistema fotovoltaico fijo que no cambia la inclinación de los paneles durante el año, una fórmula más detallada basada en estudios de irradiancia solar es:

$$\theta_{anual} = 0.87 \times \phi + 3.1^\circ$$

K. Certificaciones verdes

El uso de paneles solares como fuente de energía renovable permite reducir el consumo de electricidad generada a partir de fuentes no renovables, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de energía. En términos de las certificaciones ambientales, la incorporación de un sistema de energía solar contribuye directamente a mejorar la eficiencia energética del proyecto, lo que es clave para obtener puntos en las categorías de eficiencia en el uso de energía, que representan una porción significativa en los sistemas de puntuación de certificaciones como LEED.

Además, la adopción de energías verdes también está alineada con los criterios de sostenibilidad a largo plazo que estas certificaciones promueven. Por ejemplo, el uso de energía solar podría ayudar a reducir la huella de carbono de la urbanización, lo que está vinculado con los objetivos de mitigación del cambio climático, un criterio esencial en muchas certificaciones. Asimismo, el uso de energías renovables contribuye a mejorar la calidad ambiental interior y exterior al reducir la dependencia de fuentes de energía contaminantes y promover un entorno más saludable para los habitantes. (Aznar, A. 2018)

1. LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)

LEED es una de las certificaciones verdes más reconocidas a nivel mundial. Se centra en diversos aspectos de la sostenibilidad, incluyendo eficiencia energética, gestión del agua, selección de materiales y calidad del ambiente interior. LEED ofrece diferentes niveles de certificación (Certificado, Plata, Oro y Platino) basados en el puntaje obtenido durante la evaluación. Es ideal para edificaciones comerciales, institucionales y residenciales, fomentando diseños que reduzcan el impacto ambiental y optimicen el bienestar de los ocupantes.

2. EDGE (Excelencia en Diseño para Eficiencia Energética)

EDGE, desarrollado por el Banco Mundial, se enfoca en la eficiencia energética y sostenibilidad en el sector de la vivienda. Evalúa aspectos como el uso eficiente de energía, agua y materiales de construcción. EDGE es particularmente adecuado para proyectos de vivienda asequible y ofrece una herramienta de evaluación sencilla y accesible para mejorar la eficiencia energética de los edificios residenciales.

3. WELL

WELL se centra en la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio. Considera factores como la calidad del aire interior, la iluminación, el confort acústico y el diseño que fomenta la actividad física y la nutrición. Ideal para espacios comerciales y de oficinas, WELL busca crear entornos que mejoren la salud y el bienestar de los empleados, aumentando así la productividad y la satisfacción laboral.

4. CASA (Certificación Ambiental Sustentable para América Latina)

CASA se enfoca en las necesidades y contextos específicos de América Latina. Considera aspectos locales como la biodiversidad, la cultura y las prácticas constructivas tradicionales. Es especialmente relevante para proyectos comunitarios y urbanizaciones, fomentando el desarrollo sostenible adaptado a las condiciones locales y promoviendo la conservación del entorno natural y cultural.

L. Normativas Internacionales de Seguridad y Eficiencia en Instalaciones

Solares: IEC y NEC

En el desarrollo y diseño de sistemas fotovoltaicos, es crucial asegurarse de que dichos sistemas cumplan con los más altos estándares de seguridad, eficiencia y calidad. Para ello, los organismos internacionales han desarrollado normativas que rigen el diseño, la instalación y el mantenimiento de estos sistemas. Entre las normativas más relevantes a nivel global están las establecidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y el Código Eléctrico Nacional (NEC). Estas regulaciones garantizan que los sistemas de energía solar no solo sean efectivos en términos de producción energética, sino también seguros para los usuarios y el entorno.

1. Normativa IEC (International Electrotechnical Commission)

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es un organismo que desarrolla y publica normas internacionales para todos los campos de la tecnología eléctrica y electrónica. Las normas IEC para sistemas fotovoltaicos son ampliamente reconocidas y adoptadas en todo el mundo, y juegan un papel fundamental en la estandarización de los módulos solares y componentes relacionados.

Una de las normas más relevantes es la IEC 61215, que establece los procedimientos para la evaluación del rendimiento de los módulos fotovoltaicos bajo condiciones ambientales reales. Esta norma garantiza que los paneles solares puedan soportar las condiciones climáticas a las que serán sometidos, tales como la radiación solar, la humedad, las temperaturas extremas y el viento. Asimismo, la IEC 61730 regula los requisitos de seguridad que deben cumplir los módulos solares, centrándose en evitar riesgos eléctricos y mecánicos que podrían afectar la vida útil del sistema o causar peligros para las personas y propiedades cercanas.

Otro aspecto cubierto por las normativas IEC es la protección contra sobrecargas y descargas eléctricas, especialmente en áreas donde las tormentas eléctricas son comunes. La IEC 62305 proporciona lineamientos sobre la protección contra rayos en instalaciones fotovoltaicas, lo cual es especialmente importante en proyectos ubicados en regiones propensas a tormentas. Cumplir con las normas IEC asegura que el sistema fotovoltaico no solo sea eficiente en la producción de energía, sino también seguro y duradero, con un diseño estructural optimizado para soportar las condiciones climáticas y eléctricas a las que se verá expuesto.

2. Normativa NEC (National Electrical Code)

El Código Eléctrico Nacional (NEC), elaborado por la National Fire Protection Association (NFPA) en los Estados Unidos, es otro conjunto de regulaciones esenciales para garantizar la seguridad en las instalaciones eléctricas. Aunque originalmente es un estándar estadounidense, muchas de sus directrices son aplicadas o referenciadas en otros países debido a su rigurosidad y profundidad en los temas de seguridad eléctrica.

En el ámbito de los sistemas fotovoltaicos, el NEC establece requisitos detallados sobre la instalación, dimensionamiento y protección de los componentes eléctricos para asegurar que el sistema funcione sin problemas y sin riesgo para los usuarios. Entre los aspectos más importantes que regula el NEC en relación con los sistemas fotovoltaicos se encuentran:

El NEC especifica el tamaño adecuado de los conductores eléctricos en función de la corriente generada por los paneles solares. El uso de cables inadecuados podría provocar sobrecalentamiento y riesgos de incendio, por lo que el cumplimiento de esta normativa es crucial para garantizar la seguridad de la instalación. También proporciona directrices sobre la correcta instalación de inversores. Estas normas incluyen requisitos sobre protección contra sobrecargas y la correcta conexión a tierra de los componentes del sistema. Uno de los aspectos clave del NEC es la protección contra incendios. Esto incluye la instalación de dispositivos de desconexión rápida, fusibles y disyuntores que puedan cortar el suministro eléctrico en caso de una emergencia o sobrecarga. En un sistema fotovoltaico, estos dispositivos son esenciales para evitar daños graves en caso de fallos eléctricos o cortocircuitos.

El NEC y la IEC son complementarios en muchos aspectos, ya que mientras la IEC cubre un espectro más amplio de aplicaciones a nivel global, el NEC se centra en garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas y su cumplimiento en proyectos residenciales, comerciales e industriales en América y otras regiones que adoptan el estándar. Ambos son esenciales para asegurar que los proyectos de energía renovable, como los sistemas fotovoltaicos, operen de manera segura y cumplan con las normativas locales e internacionales.

VII. Metodología

Para llevar a cabo este estudio cuantitativo sobre la evaluación de la implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos en una urbanización de Jalapa, Guatemala, se debieron considerar varios aspectos y seguir una serie de pasos para asegurar un desarrollo metodológico adecuado.

A. Evaluación local

En el contexto de Jalapa, Guatemala, fue fundamental considerar los recursos locales disponibles para llevar a cabo el proyecto. Por esta razón, se realizó una evaluación del terreno para determinar dónde es viable implementar el plan propuesto. Este proceso se llevó a cabo utilizando SunPath, una aplicación que brinda información sobre el recorrido del sol en función del tiempo, permitiendo así identificar la orientación óptima para los paneles fotovoltaicos.

Además, se consultó el reglamento de construcción del departamento de Jalapa para asegurar que la ubicación de los paneles solares cumpla con las normativas locales y respete los parámetros establecidos. De este modo, el proyecto podrá avanzar de manera eficaz y conforme a las regulaciones pertinentes.

B. Desarrollo de cálculos preliminares

Con base en variables como la edificabilidad, las horas de sol y el espacio disponible para la instalación de paneles solares, se realizó una planificación para integrar paneles solares en la urbanización mediante el uso de Revit, un software empleado para el modelado y diseño de proyectos de construcción. Luego, se procedió al cálculo de paneles fotovoltaicos para determinar la orientación, el área necesaria y el tipo de panel adecuado con el fin de satisfacer el 50% de la demanda energética de la red local. Para esto, se calculó el consumo promedio por vivienda en el complejo utilizando Dialux para la evaluación de uso de energía de las luminarias añadido a un cálculo de la demanda energética de los circuitos de fuerza.

C. Entregables

Al concluir los cálculos, se presentan las evaluaciones sobre qué paneles solares deben instalarse y cómo deben estar interconectados, así como su orientación óptima, el nivel de abastecimiento energético logrado y la reducción estimada de la huella de carbono. Además, se entregan los planos con la distribución general de la urbanización.

VIII. Resultados y Discusión

A. Análisis del sitio

1. Análisis de terreno

El estudio comienza con la evaluación del sitio sobre el que se llevará a cabo el trabajo. El sitio seleccionado para la instalación de los paneles solares está localizado en Jalapa, Guatemala, cuyas coordenadas son 14°38'48.0"N 89°58'17.2"W. Esta ubicación es favorable para el aprovechamiento de la energía solar debido a su proximidad al ecuador, lo que garantiza un suministro constante de radiación solar durante todo el año. Jalapa se encuentra a una altitud de aproximadamente 1,300 metros sobre el nivel del mar, lo que proporciona ciertas ventajas climáticas, tales como temperaturas más frescas y cielos despejados durante gran parte del año, que optimizan la captación solar.

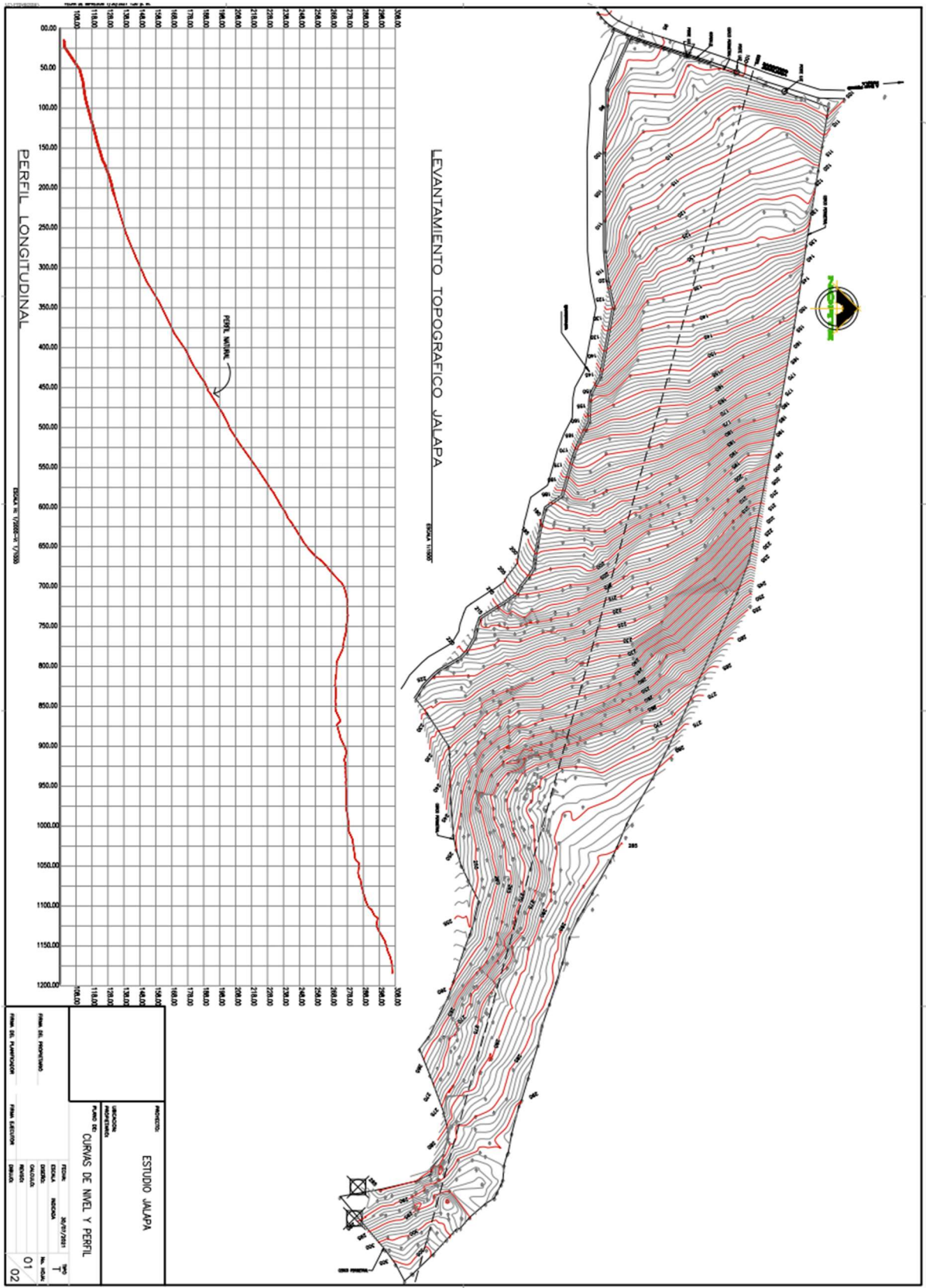


Figura 8. Plano curvas de nivel,

Fuente: (ICP, 2022)

El sitio donde se diseñó el sistema fotovoltaico presenta una topografía variada que impacta directamente en la planificación energética. Como se observa en *Figura 9* El terreno tiene una inclinación considerable, lo que ofrece ventajas para la instalación de paneles solares con una orientación adecuada. La pendiente del terreno permite maximizar la exposición solar y, en combinación con los estudios de irradiación, determina las ubicaciones óptimas para los módulos solares.

La geografía requiere un análisis detallado del terreno para determinar la mejor disposición de los paneles solares. La altitud del sitio juega un papel importante en la eficiencia del sistema fotovoltaico, ya que las temperaturas en altitudes elevadas pueden mejorar el rendimiento de los paneles, dado que estos suelen perder eficiencia a medida que la temperatura aumenta.

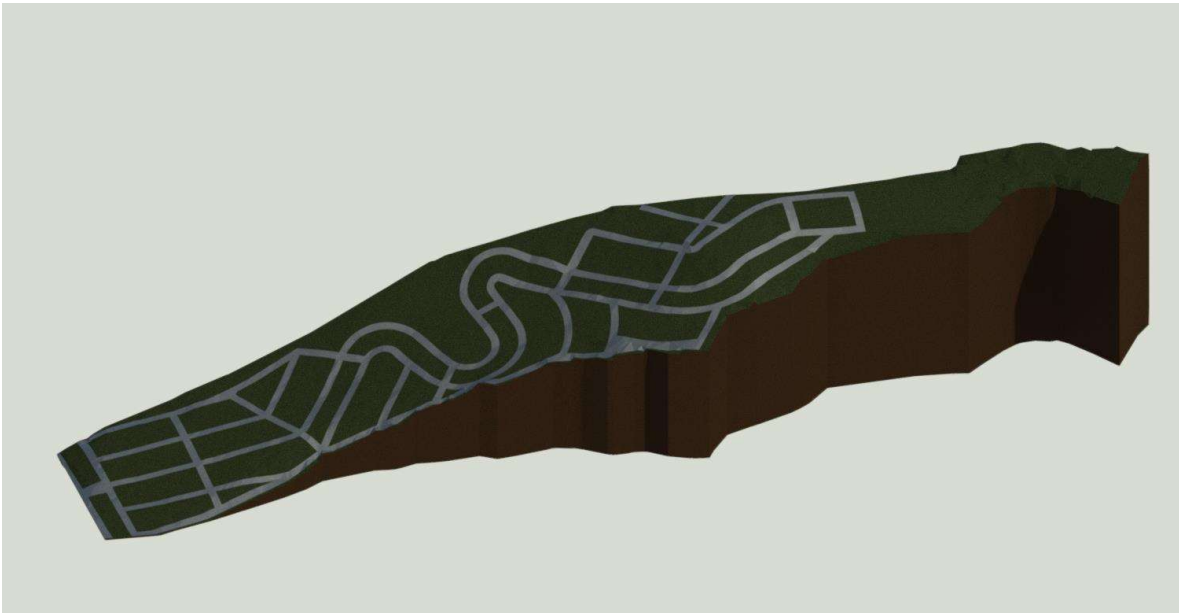


Figura 9. Isométrico terreno.

Revit y AutoCAD: Estas herramientas se utilizaron para modelar la topografía del terreno y simular la ubicación de los paneles solares. También se integraron datos topográficos.

El plano de curvas de nivel detalladas fue un recurso clave para el desarrollo de un modelo tridimensional en Revit del terreno de la urbanización para manejar una perspectiva exacta sobre el comportamiento de la topografía en la región seleccionada a trabajar.

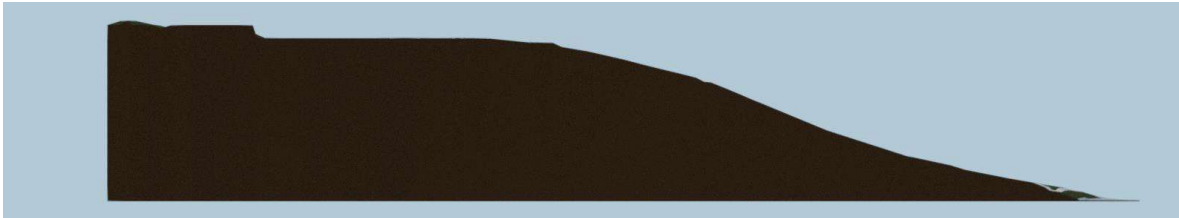
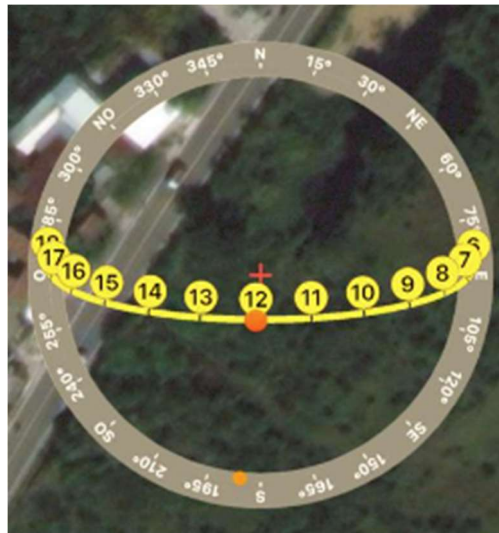


Figura 10. Elevación terreno.

2. Análisis solar y climático

Para evaluar las condiciones climáticas y geográficas del sitio, se utilizaron diversas herramientas y aplicaciones, incluyendo:



A través de SunPath, se obtuvo el ángulo de incidencia solar en Jalapa a lo largo del año, lo que permitió determinar la orientación e inclinación óptimas de los paneles.

Carretera Jalapa - San Pedro Pinula

Figura 11. Recorrido solar

En la *Figura 11*, se observa una representación gráfica de la orientación solar, que indica la trayectoria del sol a lo largo del día en relación con el terreno. Esta medición es importante para determinar la inclinación y el ángulo de los paneles solares, maximizando la captación de energía. La orientación está alineada hacia el sur, lo que es óptimo para la ubicación de paneles en el hemisferio norte, ya que permite mayor exposición solar durante el mayor tiempo posible.



Figura 13. Recorrido solar.



Figura 12. Recorrido solar.

La *Figura 13* muestra una perspectiva del terreno, donde se ha marcado la posición del sol a lo largo del día, específicamente a 105° hacia el este. Esta información es relevante para evaluar la exposición solar matutina, que será un factor determinante en la eficiencia de los paneles durante las primeras horas del día. La pendiente del terreno también es visible, lo que ayuda a planificar la inclinación adecuada de los paneles en esa área.

La *Figura 12* muestra la medición de la trayectoria solar en dirección oeste a 285° . Esta medición representa la posición del sol durante las horas de la tarde. Esta orientación permite evaluar la eficiencia del sistema fotovoltaico durante las horas de la tarde, asegurando que los paneles estén bien posicionados para captar energía hasta el final del día.

En conjunto, estas imágenes ofrecen información detallada sobre la orientación solar y las condiciones del terreno, elementos esenciales para optimizar el diseño del sistema fotovoltaico y garantizar la mayor eficiencia energética posible en el proyecto.

Para el correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se realizó un análisis de las condiciones solares en Jalapa. El sitio tiene una radiación solar promedio anual de 5 horas y 37 minutos solares pico diarias, lo que es un valor considerablemente alto en comparación con otras regiones. Este dato fue fundamental para determinar la capacidad de generación del sistema fotovoltaico.

Hora dorada	05:52 a. m. - 06:18 a. m. 26min
Día	06:18 a. m. - 11:55 a. m. 5h 37min
Tránsito	11:55 a. m. ‡ 77°
Día	11:55 a. m. - 05:33 p. m. 5h 37min
Hora dorada	05:33 p. m. - 05:59 p. m. 26min
Puesta de sol	05:59 p. m. - 06:01 p. m. 2min
Crepúsculo civil	06:01 p. m. - 06:23 p. m. 21min
Crepúsculo náutico	06:23 p. m. - 06:48 p. m. 24min
Crepúsculo astronómico	06:48 p. m. - 07:13 p. m. 24min
Noche	07:13 p. m. - 11:55 p. m. 4h 42min

Tabla 2. Datos solares, ubicación.

Explicación de los distintos periodos:

Hora Dorada (Mañana: 05:52 a.m. - 06:18 a.m.; Tarde: 05:33 p.m. - 05:59 p.m.):

Este periodo, caracterizado por una iluminación suave y cálida, tiene una duración de 26 minutos tanto al amanecer como al atardecer. Aunque este periodo no es el más eficiente para la captación de energía solar debido al ángulo bajo del sol, es importante conocerlo para tener una idea completa de las condiciones de luz.

Día (Primera fase: 06:18 a.m. - 11:55 a.m.; Segunda fase: 11:55 a.m. - 05:33 p.m.):

Este es el periodo más importante para la captación de energía solar. El día se divide en dos fases, cada una con una duración de 5 horas y 37 minutos (HSP), lo que indica una excelente cantidad de horas con luz solar directa. En estas franjas horarias es cuando los paneles fotovoltaicos generan su mayor producción de energía.

Durante el tránsito solar (11:55 a.m.), el sol alcanza su punto más alto en el cielo, con un ángulo de 77° , lo que asegura la máxima eficiencia en la captación de energía.

Puesta de Sol (05:59 p.m. - 06:01 p.m.):

Este es el periodo exacto de la puesta de sol, con una duración de 2 minutos, indicando el final del día solar.

Crepúsculo civil, náutico y astronómico (06:01 p.m. - 07:13 p.m.):

Estos periodos de transición hacia la noche total tienen una duración combinada de aproximadamente 1 hora y 12 minutos. Durante estos periodos, aunque ya no hay luz solar directa, aún queda algo de iluminación difusa en el cielo. Estos datos son importantes para conocer la duración total del periodo sin luz solar, lo cual puede influir en la planificación de sistemas de almacenamiento de energía (baterías) para uso durante la noche.

Noche (07:13 p.m. - 05:52 a.m.):

La noche completa tiene una duración de 10 horas y 39 minutos. Durante este periodo, no hay luz solar, lo que indica la necesidad de almacenamiento de energía o fuentes de energía complementarias.

Relevancia para el proyecto:

Esta imagen es útil para planificar con precisión el rendimiento del sistema fotovoltaico a lo largo del día. La información sobre las horas de luz directa y su intensidad ayuda a optimizar el diseño de los paneles solares, asegurando que estén orientados de manera que capturen la mayor cantidad de energía posible durante las 11 horas y 14 minutos de luz diaria disponibles.

El clima de Jalapa se caracteriza por temperaturas mensuales promedio que durante el día varían entre un máximo de 28°C y un mínimo de 24°C. La temperatura promedio anual es de aproximadamente 25.7°C. Durante la noche, las temperaturas en los meses fríos promedian alrededor de 13°C y en los meses más cálidos alrededor de 18°C. Un valor que está cerca del rango óptimo para los paneles solares. Es importante recordar que los paneles solares pierden eficiencia a medida que la temperatura ambiente aumenta. En este caso, las pérdidas por temperatura son mínimas. (Elclimaytiempo, 2024)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp. máx (°C)	24	25	27	28	28	26	26	27	26	27	24	24
Temp. mín (°C)	14	15	16	17	18	18	17	17	18	18	16	15
Precipitación	☔	☔	☔	☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔☔☔	☔	☔
Precipitación (mm)	4,9	10	14	41	173	167	102	168	159	164	42	3,3
Índice UV	8	9	9	9	8	8	8	9	8	7	7	7

Tabla 3. Temperatura en Jalapa.

Fuente: (Elclimaytiempo, 2024)

3. Análisis de POT

En el análisis de sitio también fue necesario la consultoría del POT de Jalapa con lo que se procedió con el documento de Plan de Ordenamiento Territorial más actualizado publicado por la municipalidad de Jalapa. En la lectura del documento se tomaron en cuenta distintos aspectos claves sobre la incorporación del sistema a proponer. Algunos de los aspectos que fueron necesarios tomar en cuenta fueron los siguientes.

Factores para tomar en cuenta en la planificación en las coordenadas 14°38'48.0"N 89°58'17.2"W (Jalapa, Guatemala) basado en el PDM-OT 2023:

Topografía y uso del suelo:

La mayor parte del terreno tiene pendientes superiores al 32%, lo que requiere técnicas de construcción adaptadas a terrenos inclinados.

El 72.9% del suelo es no cultivable, adecuado solo para uso forestal, con un 15.3% adicional que no es apto para cultivos.

Acceso y conectividad:

Existen tres vías principales de acceso: CA-9 (Atlántico), CA-1 (Interamericana), y la vía de Mataquescuintla, transitables todo el año, aunque algunas sufren problemas de derrumbes en temporada de lluvias.

Riesgos ambientales:

La zona presenta alta vulnerabilidad a la erosión y es propensa a incendios forestales, especialmente en áreas como el Volcán Jumay y otras comunidades rurales.

(PDM-OT final 2023).

El terreno en Jalapa presenta características que lo hacen altamente adecuado para la instalación de un sistema fotovoltaico. La falta de valor agrícola del suelo, la inclinación favorable para la captación solar, el buen acceso por carreteras principales y la baja afectación ambiental directa son factores que justifican y respaldan la viabilidad del proyecto. Aunque existen riesgos ambientales asociados a la erosión y los incendios forestales, estos pueden gestionarse adecuadamente sin comprometer la seguridad o eficiencia del sistema fotovoltaico. De los puntos clave que se toman en cuenta en el documento de PDMT 2023 no hay alguno que limite u obstruya el desarrollo directo de una propuesta de implementación de energía renovable en el área. Por tanto, la instalación de paneles solares en esta área no solo es viable, sino que contribuye a un uso sostenible y eficiente de un terreno que, de otro modo, tiene un valor limitado para actividades productivas.

B. Demanda energética

En el contexto de este trabajo, el uso de DialUx se convierte en un componente esencial para el diseño y cálculo de sistemas de energía solar destinados a viviendas. La importancia de esta herramienta radica en su capacidad para proporcionar datos precisos que permiten determinar la cantidad de energía necesaria para cada vivienda y diseñar de manera efectiva la integración de paneles solares.

El primer paso en este proceso es definir claramente el proyecto, estableciendo el objetivo de diseñar un sistema de energía solar que cubra las necesidades eléctricas de las viviendas. Para ello, es crucial calcular la demanda energética, lo que se lleva a cabo utilizando cálculo de la demanda energética de los circuitos de fuerza por medio de una hoja de cálculo. Esto permite estimar la cantidad de energía requerida por cada espacio de la vivienda, sumando la demanda de todos los dispositivos eléctricos que se utilizarán. Este cálculo inicial sienta las bases para determinar cuántos paneles solares serán necesarios para satisfacer dicha demanda.

La *Figura 14* a continuación, muestra el diseño del condominio en Jalapa, destacando una disposición que integra amplias áreas verdes, ideales para la instalación de paneles solares que optimizarán la captación de energía solar en el conjunto residencial.

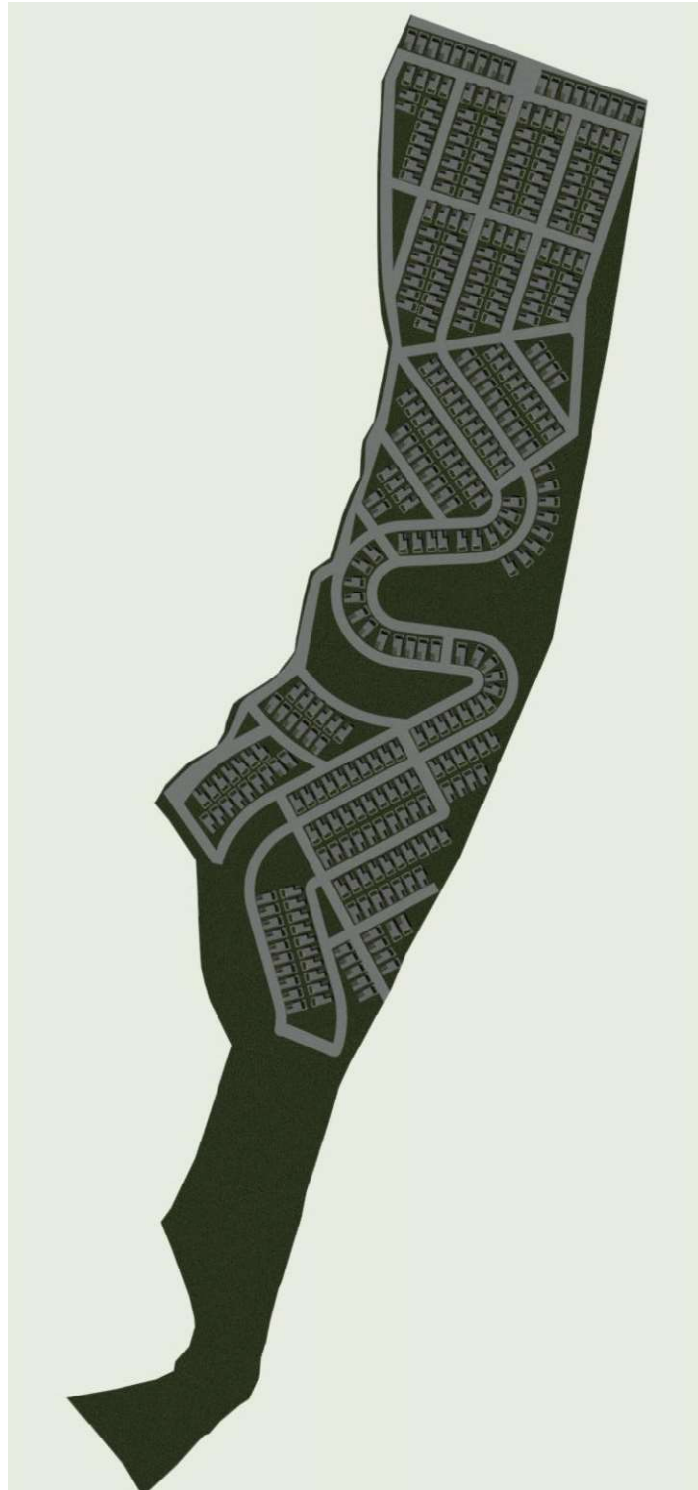


Figura 14. Lotificación

Posteriormente, se debe realizar una simulación de la iluminación utilizando DIALux. Este software permite visualizar cómo se iluminará cada espacio de la vivienda con la instalación eléctrica planeada, proporcionando información valiosa sobre si la producción de energía de los paneles solares será suficiente para cubrir la demanda calculada. Esta etapa es crucial, ya que ayuda a identificar posibles discrepancias entre la energía generada y la energía consumida.

Para el desarrollo del modelo en DialUx se utilizaron los planos de iluminación del modelo de casas deseado por la desarrolladora para la planificación del proyecto. Una vez modeladas en el programa se continuó a la evaluación energética de los distintos espacios para poder determinar sus consumos energéticos en el transcurso del día y de los años.

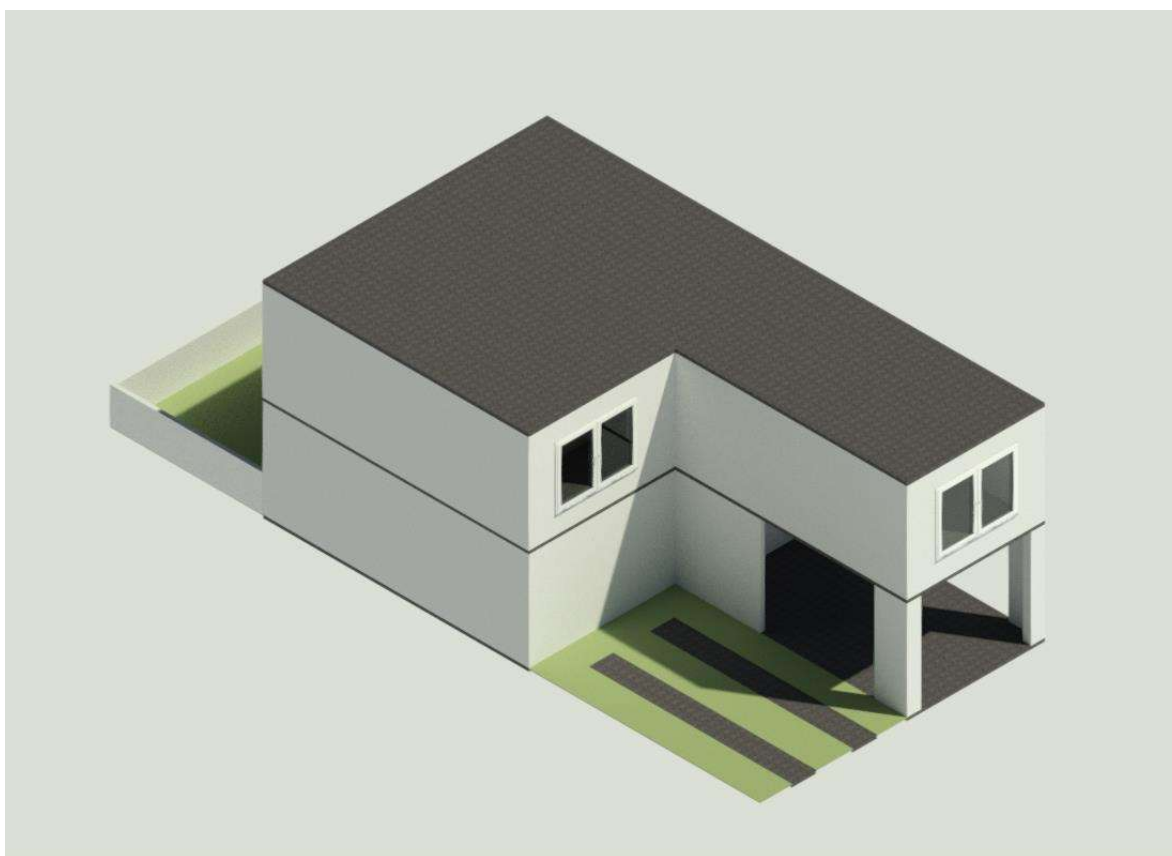


Figura 15. Isométrico casa.

La vista lateral frontal muestra una vivienda de dos niveles con un diseño moderno. En la parte frontal se observa un espacio destinado a estacionamiento o garaje, cubierto por una estructura. La parte superior cuenta con ventanas amplias que permiten el ingreso de luz natural, lo cual podría influir en la eficiencia energética al reducir el consumo de electricidad durante el día.



Figura 16. Isométrico casa.

Esta vista trasera de la vivienda muestra un área abierta de jardín, lo que contribuye a un diseño funcional y cómodo para los habitantes. La gran ventana corredera que da hacia el patio sugiere un diseño que busca aprovechar la luz natural, lo que reduce la necesidad de iluminación artificial. El diseño de la vivienda busca la eficiencia del espacio y la maximización del confort mediante la integración de elementos de construcción modernos.

Ambas imágenes resaltan un diseño arquitectónico eficiente y adaptable, que podría ser relevante en el análisis energético al considerar la orientación y el espacio disponible para la integración de paneles solares.

1. Cálculo iluminación

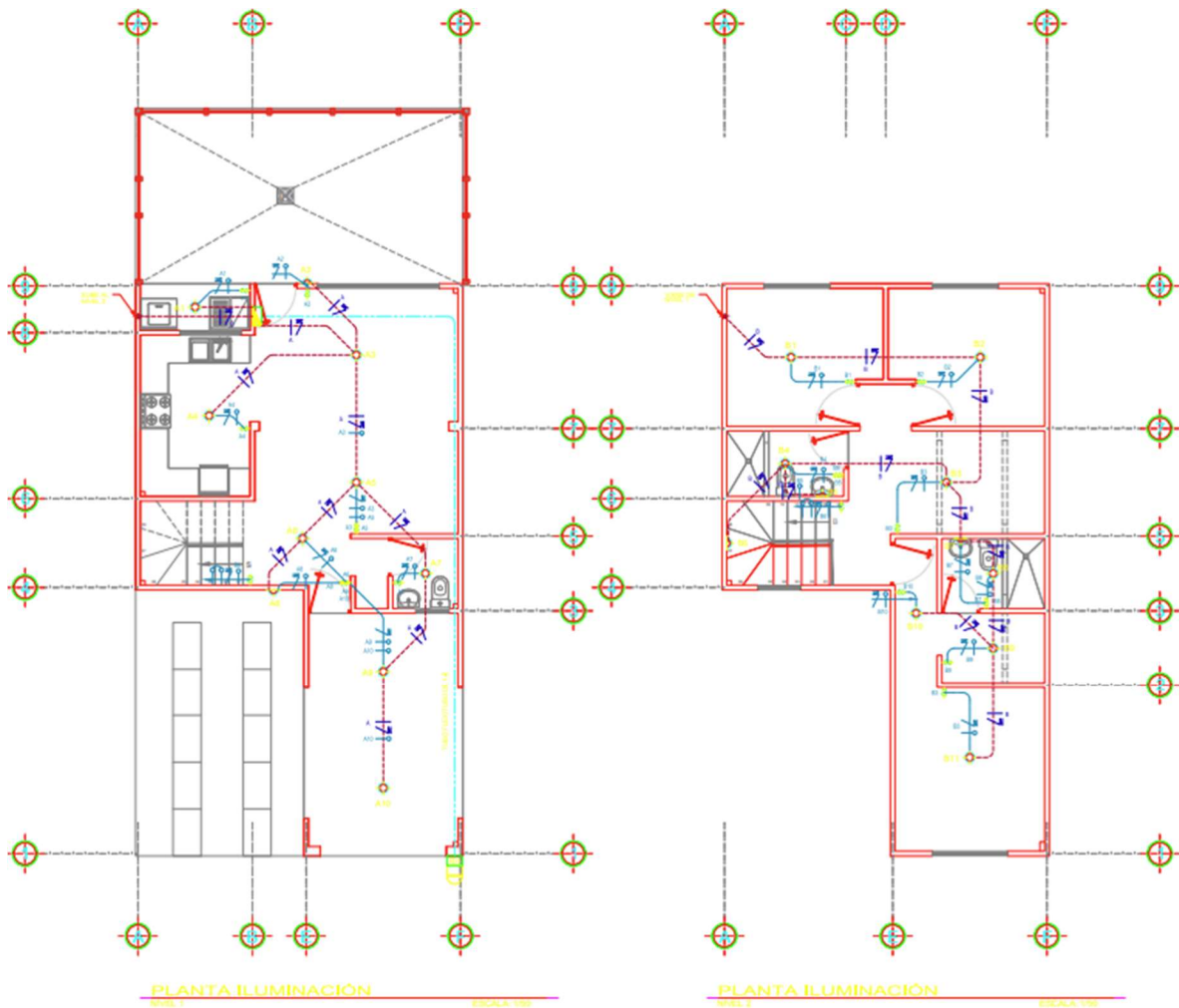


Figura 17. Planos iluminación.

Fuente: (Nabla, 2022)

El plano mostrado representa el diseño de la distribución de iluminación eléctrica para el modelo de vivienda, el cual forma parte del proyecto en estudio. Este diseño tiene como objetivo asegurar una distribución eficiente y segura de los puntos de luz, interruptores y tomacorrientes dentro de la vivienda, garantizando que cada espacio tenga la iluminación adecuada según su función. A partir de este plano, se realizó la creación del modelo en DialUx, con el objetivo de simular el comportamiento de la iluminación en el interior de la vivienda y evaluar su eficiencia. A través de esta herramienta, es posible ajustar y verificar la cantidad de puntos de luz, la potencia de cada uno y su disposición, con el fin de optimizar la distribución lumínica y reducir el consumo eléctrico. El modelo generado en DIALux proporciona una visualización precisa del sistema de iluminación, lo que es fundamental para dimensionar de manera adecuada la energía fotovoltaica.

En el modelo creado en DialUx, se ha utilizado la bombilla LED LBD 15W 6500K (LBD-15T), ya que ha sido la seleccionada para la planificación energética de los hogares en este proyecto. Esta bombilla es una opción común en el mercado debido a su alta eficiencia energética y su bajo consumo eléctrico. Su uso en el modelo DIALux permite simular de manera precisa cómo será el comportamiento de la iluminación en las viviendas, garantizando tanto la eficiencia energética como el confort lumínico en todos los espacios.

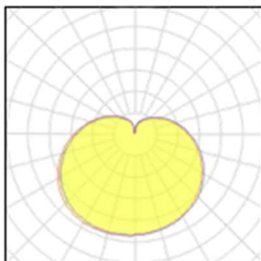
Product data sheet

LED BULB LBD 15W 6500K
LBD-15T
MPE



- Bulb Led - Size: Ø67 x 143 mm - Weight: 61g - Base type: E27. - Outer body is PA plastic, inside is aluminum, PC plastic cover - Voltage: 220VAC - Power: 15W - Power Factor (PF): >0.5 - Luminance: 1500 lm - Color Temperature (CCT): 6000-6500K - RA >80 High Color Rendering Index - Beam angle: 230° - Chip LED: SMD 2835 - Life Time: 30,000 hours - Instant Light: 0s - European Standard CE - RoHS

Light output 1



1 x LED			
Nominal lamp power	15 W	LOR	100%
Lamp flux	1756 lm	ULOR	28%
Luminous efficacy	117 lm/W	Total flux	1756 lm
CCT	7167 K	Total power	15 W
CRI	83		

Mounting mode

Ceiling mounted, Pendant

Shape and measurements

Length: 67 mm
Width: 67 mm
Height: 118 mm
Weight: 0.5 kg

Adjustability

Fixed

Electric

System power: 15 W

Protection

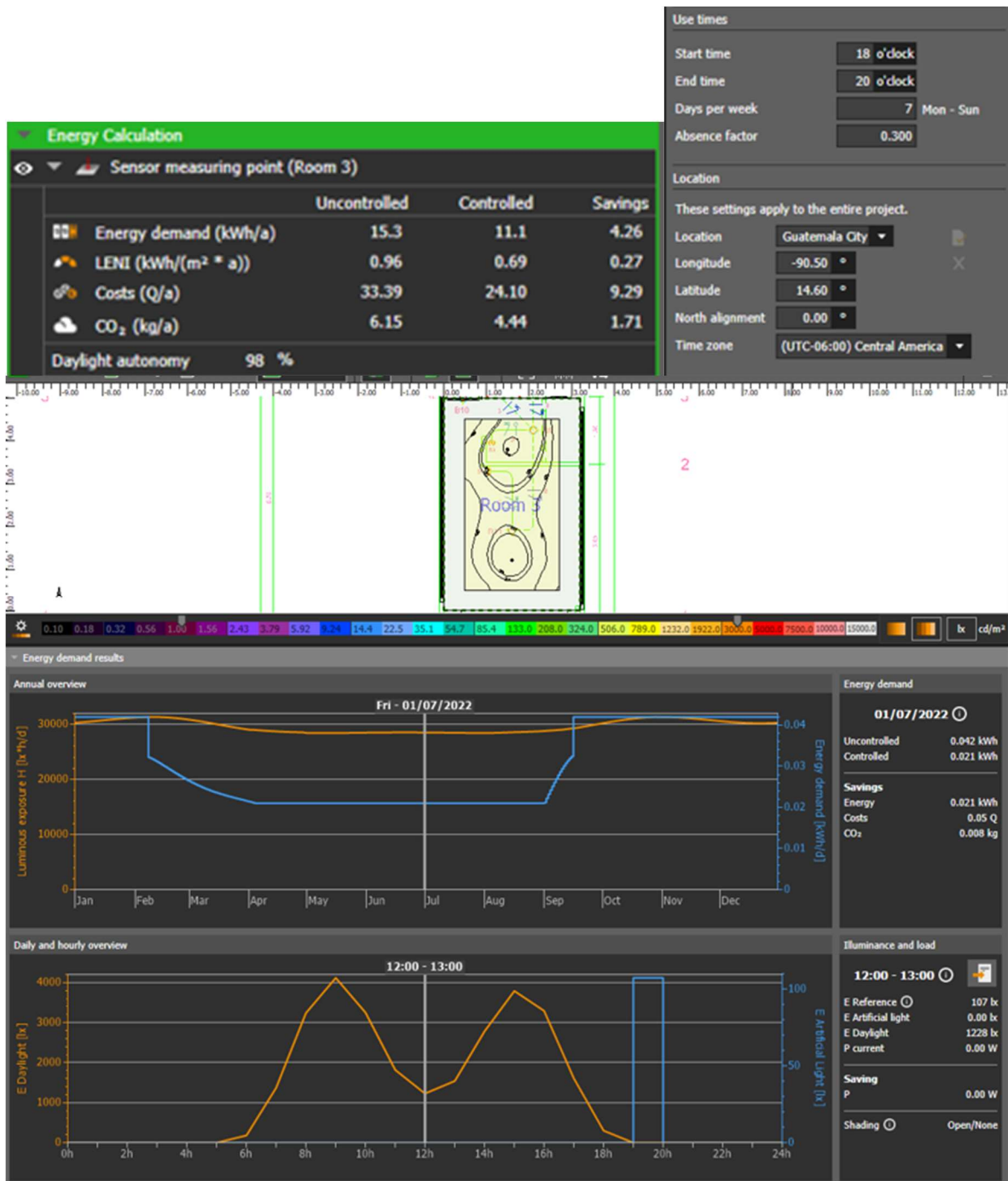
IP: 20

Designation labels: CE

Cuadro 1. Especificaciones técnicas LBD 15W.

Fuente: (MPE, 2024)

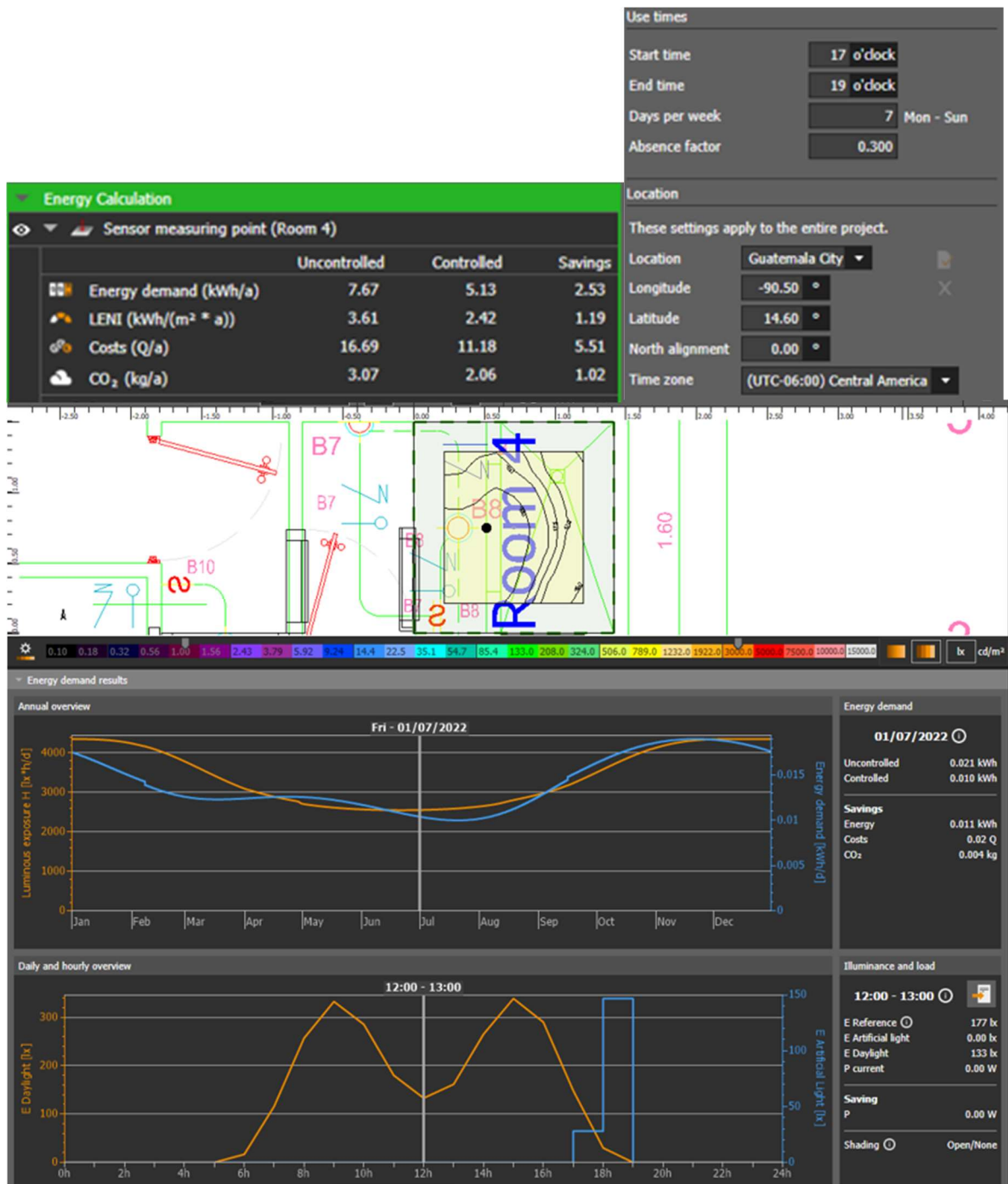
Simulación garaje:



Gráfica 3. Demanda energética garaje.

En la simulación realizada con DIALux para el área de garaje, se refleja una baja demanda de iluminación artificial debido a la naturaleza abierta del espacio, que permite la entrada de luz natural durante la mayor parte del día. El análisis muestra que la demanda energética en condiciones no controladas es de 15.3 kWh/año.

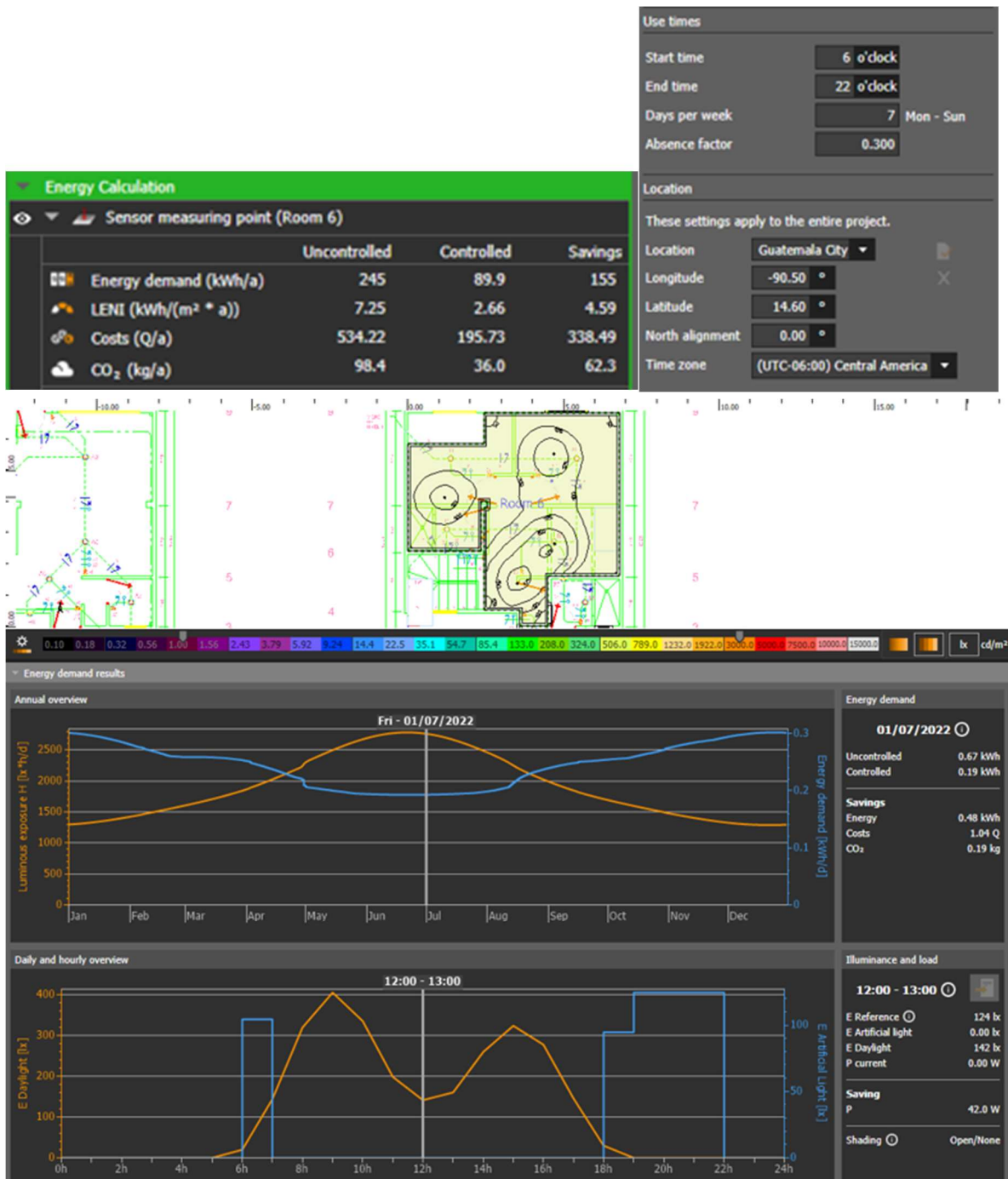
Simulación baño de visitas:



Gráfica 4. Demanda energética baño.

En la simulación de DIALux correspondiente al baño de visitas, los resultados muestran una demanda energética relativamente baja debido a su uso esporádico y reducido en comparación con otras áreas de la vivienda. La demanda de energía en condiciones no controladas es de 7.67 kWh/año.

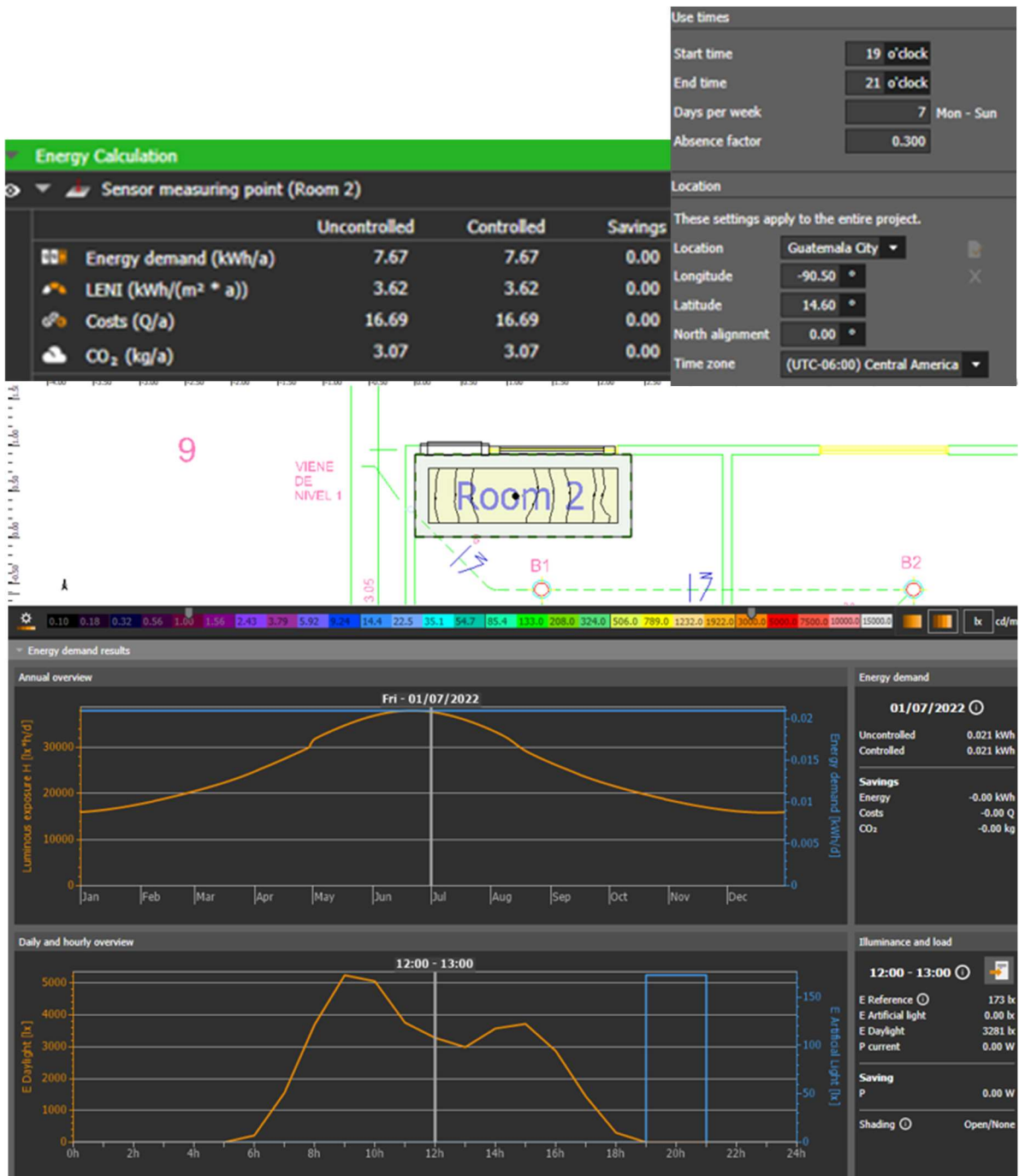
Simulación área social primer nivel:



Gráfica 5. Demanda energética área social.

En la simulación de DIALux para el área social, que abarca la sala, cocina y comedor, se refleja una demanda energética notablemente alta debido a la mayor actividad y el uso prolongado de iluminación artificial en estos espacios. La demanda de energía en condiciones no controladas asciende a 245 kWh/año.

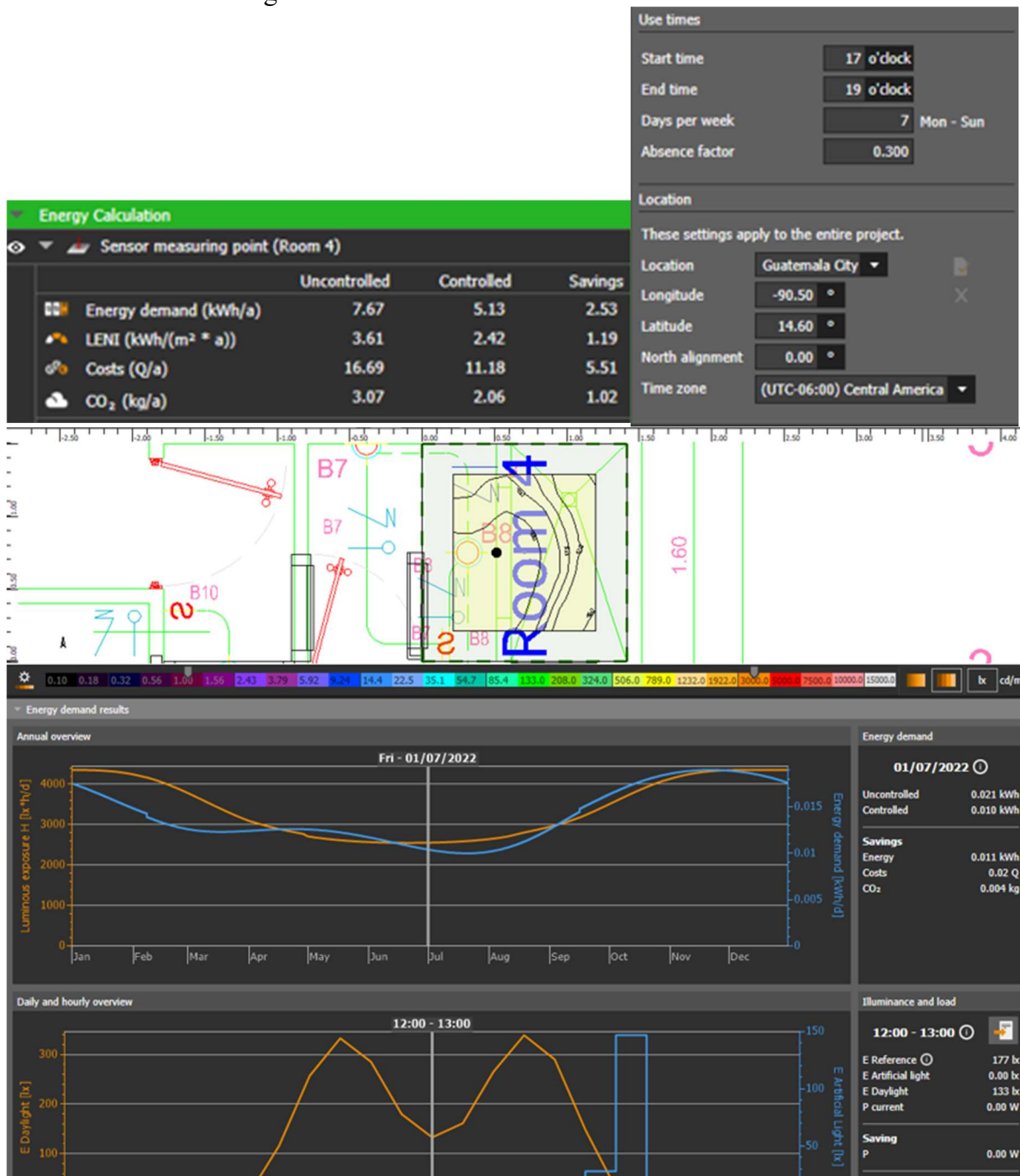
Simulación lavandería:



Gráfica 6. Demanda energética lavandería.

En la simulación de DIALux para el área de la lavandería, los resultados muestran una demanda energética controlada debido a la limitada necesidad de iluminación artificial en este espacio, especialmente durante el día. La demanda energética en condiciones controladas y no controladas es prácticamente la misma, 7.67 kWh/año.

Simulación módulo de gradas:

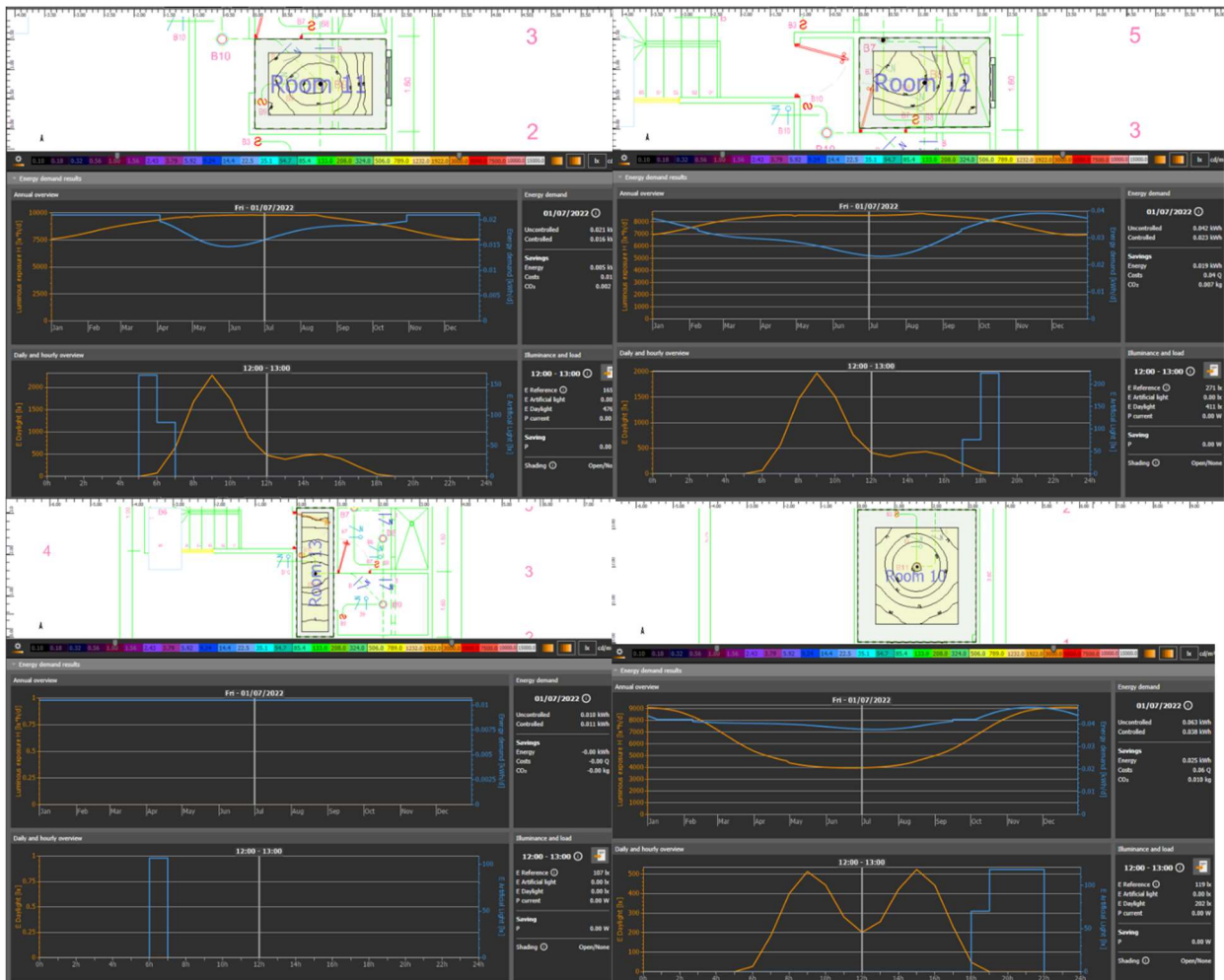


Gráfica 7. Demanda energética módulo de gradas.

En la simulación de DIALux correspondiente al módulo de gradas, se observa una demanda energética moderada debido a la necesidad de mantener iluminada esta área por seguridad, especialmente en horarios nocturnos. La demanda de energía en condiciones no controladas es de 11.5 kWh/año.

Simulación habitación principal:

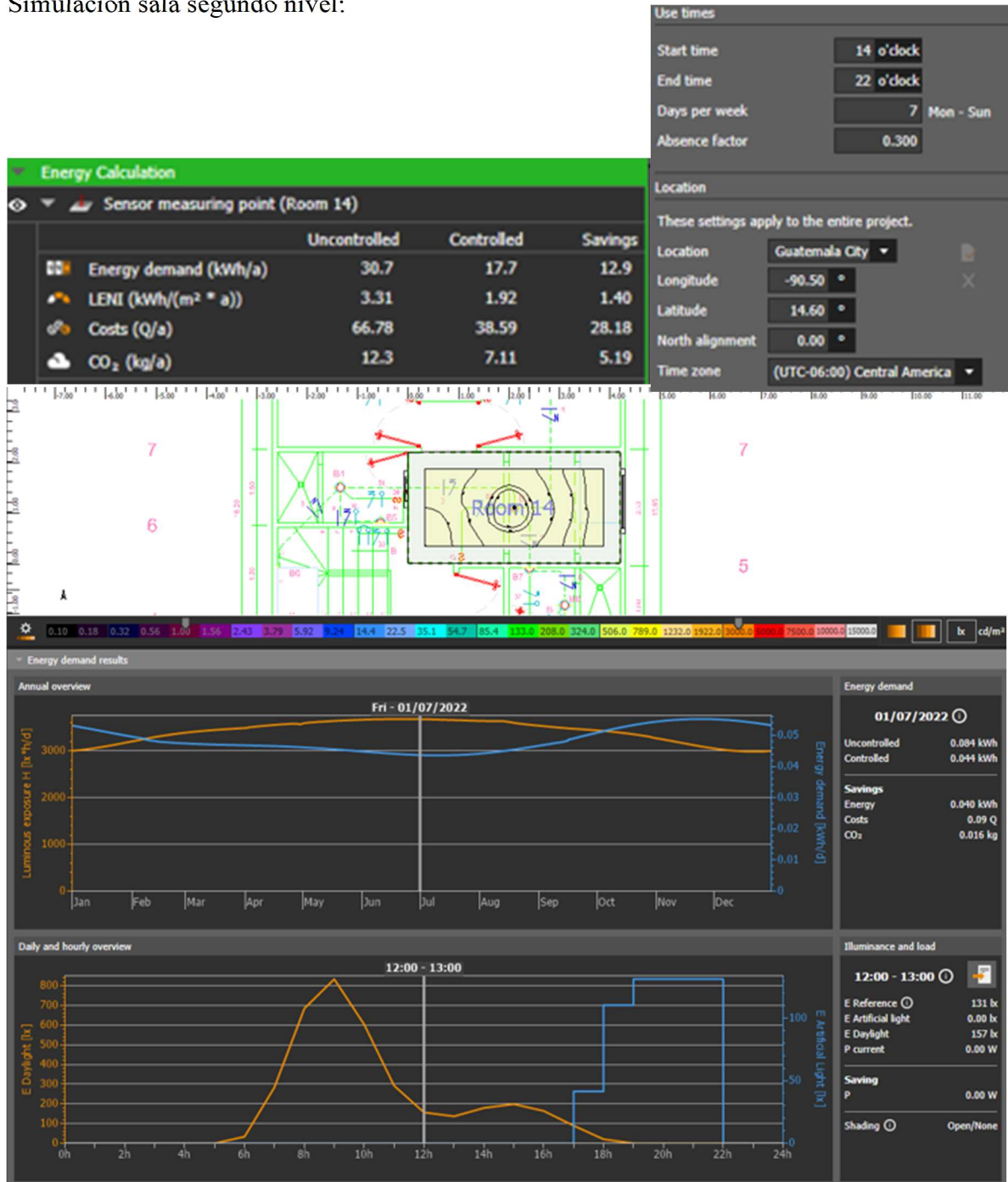
El área correspondiente al cuarto principal está dividida en varias zonas que incluyen el pasillo, baño, clóset, y la habitación principal propiamente dicha. La simulación en DIALux muestra cómo se distribuye la iluminación en cada una de estas zonas y cuál es la demanda energética resultante



Gráfica 8. Demanda energética habitación principal.

En el cuarto principal, que abarca las zonas de pasillo, baño, clóset y la habitación principal, la demanda de iluminación en condiciones no controladas es significativa debido al uso constante de luz artificial en las diferentes áreas, particularmente durante la madrugada y la noche, cuando las personas suelen estar en sus habitaciones. En el pasillo (Room 13), la demanda no controlada es de 3.33 kWh/año, en el baño (Room 12) asciende a 15.3 kWh/año, en el clóset (Room 11) es de 7.67 kWh/año, y en la habitación principal (Room 10) alcanza los 23.0 kWh/año. Estos valores reflejan la necesidad de iluminación artificial durante los horarios nocturnos y las primeras horas de la mañana, momentos en los que la iluminación es crucial para la funcionalidad y comodidad del espacio.

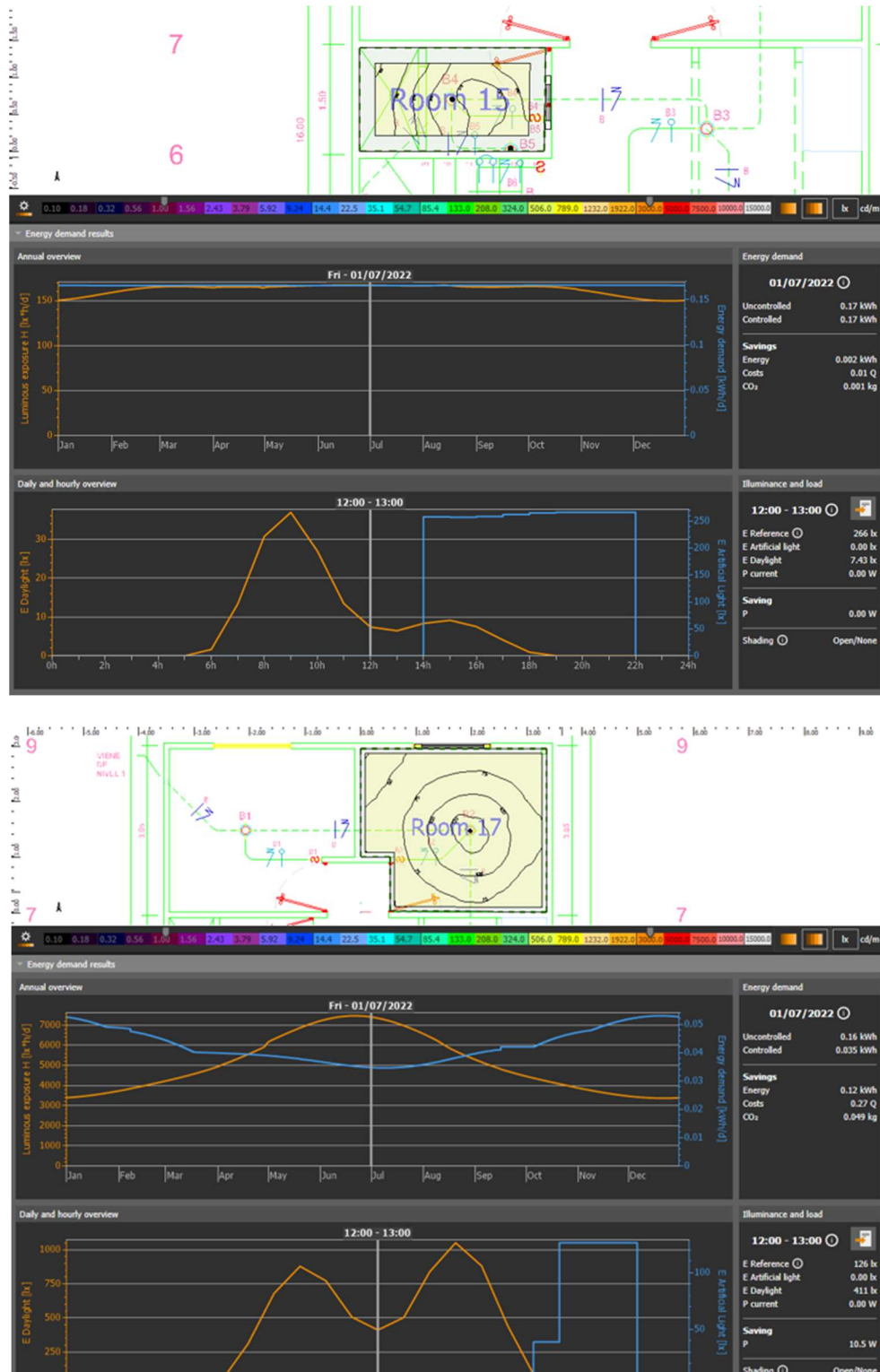
Simulación sala segundo nivel:



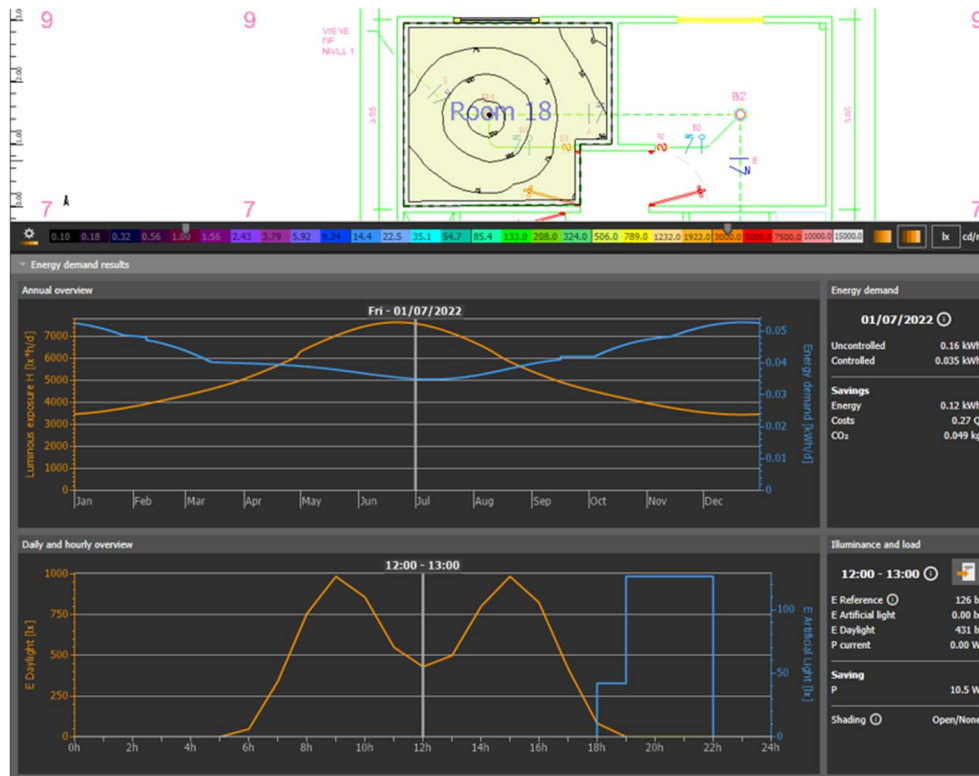
Gráfica 9. Demanda energética sala.

En la simulación de DIALux correspondiente a la sala familiar del segundo nivel, la demanda de iluminación en condiciones no controladas es de 17.7 kWh/año. El análisis indica que la sala familiar tiene un consumo de energía moderado.

Simulación habitaciones secundarias y baño compartido:



Gráfica 10. Demanda energética habitación secundaria.



Gráfica 11. Demanda energética habitación secundaria.

Las simulaciones realizadas en DIALux para las dos habitaciones secundarias (Room 17 y Room 18), junto con su baño compartido (Room 15), reflejan patrones de consumo energético similares debido a su diseño simétrico y función equivalente dentro de la vivienda, variantes solamente por su orientación. En las habitaciones secundarias, la demanda de energía en condiciones no controladas es de 57.5 kWh/año para la Habitación 17 y 67.5 kWh/año para la Habitación 18.

En el baño compartido (Room 15), la demanda energética en condiciones no controladas es de 63.1 kWh/año, y se reduce ligeramente a 60.5 kWh/año. La falta de luz natural y la mayor cantidad de luminarias hacen que el baño dependa completamente de la iluminación artificial, incluso durante el día, lo que explica el consumo energético más elevado.

Terminados los cálculos sectoriales y temporarios de la utilización de energía en la casa modelo a utilizar para la propuesta de la implementación de la energía solar se cuenta con este cuadro de datos como el resultado resumido de consumos y necesidades de la casa modelo.

Energy Calculation			
Summary Casa Modelo 130			
	Uncontrolled	Controlled	Savings
Energy demand (kWh/a)	544	268	276
LENI (kWh/(m ² * a))	61.1	41.6	19.5
Costs (Q/a)	1185.30	583.89	601.41
CO ₂ (kg/a)	218	108	111

Cuadro 2. Demanda energética.

Esto es de suma importancia ya que basado en esto es que se estará realizando el cálculo de los paneles fotovoltaicos para intentar cubrir el 50% de la demanda generada por el condominio de hogares.

A lo largo de los análisis en diferentes áreas de la vivienda, se ha evaluado cómo se comporta la demanda de iluminación en función del uso de cada espacio. Los resultados reflejan variaciones en el consumo energético según la cantidad de luminarias instaladas y el acceso a luz natural. En espacios como el cuarto principal, las habitaciones secundarias, y la sala familiar, se observa un consumo considerablemente alto en relación con los demás espacios, debido a que estos son lugares de uso frecuente, tanto en horas diurnas como nocturnas. Por otro lado, áreas como el baño compartido presentan un consumo más elevado debido a la necesidad de mantener una iluminación uniforme en todo el espacio.

Estos estudios son cruciales para entender cuánta energía consume cada área de la vivienda y cómo se puede ajustar las necesidades de iluminación para optimizar el uso de la energía solar que proveerán los paneles fotovoltaicos. La evaluación de la demanda energética de iluminación nos permite diseñar un sistema eficiente, asegurando que la energía generada por los paneles solares sea suficiente para cubrir un porcentaje significativo del consumo de la casa.

2. Cálculo fuerza

Los planos de fuerza presentados son fundamentales para el diseño eléctrico de las casas modelo, ya que detallan la distribución de los circuitos y la ubicación de las tomas de corriente necesarias para los electrodomésticos y dispositivos esenciales en cada vivienda. Estos planos permiten realizar un cálculo preciso de la demanda energética de cada casa, al integrar el consumo de los diferentes electrodomésticos con las luminarias instaladas.

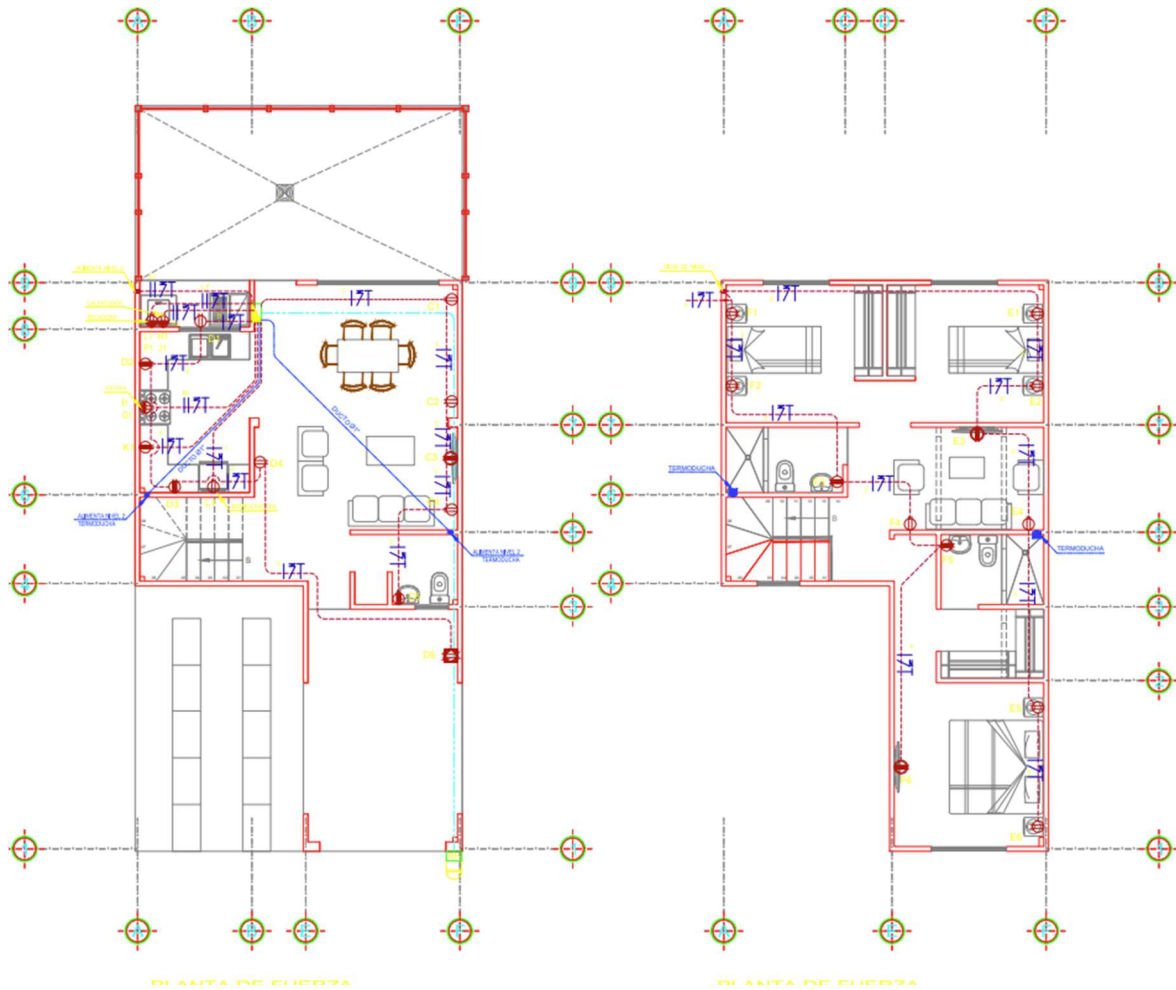


Figura 18. Planos fuerza.

Fuente: (Nabla, 2022)

El cuadro de consumo ha sido realizado utilizando cálculos basados en electrodomésticos comunes en una vivienda típica, con horas de uso promedio y realistas para estimar la demanda energética. Se incluyen electrodomésticos como refrigeradoras, estufas, televisores, secadoras, entre otros, y sus respectivos consumos, los cuales ayudan a sumar la demanda generada por el circuito de fuerza a la ya calculada para la iluminación.

Electrodoméstico	Horas de uso por día	Unidades	Consumo en (kWh/h)	Consumo diario (kWh)	Consumo anual (kWh/año)
Refrigeradora	24	1	0.05	1.20	438.0
Ventilador	1	3	0.01	0.03	10.95
Microondas	0.5	1	1.75	0.87	319.30
Lampara	1	3	0.01	0.03	10.95
Lavadora	0.6	1	1.50	0.90	328.5
Televisor	1	3	0.10	0.50	182.5
Computadora	2	2	0.05	0.30	109.5
Router	24	1	0.01	0.24	87.6
Plancha	0.75	1	1.20	0.90	328.5
Bocina	1	2	0.05	0.10	36.5
Consola de video / juegos	2	1	0.12	0.24	87.6
Aspiradora	0.50	1	1.2	0.60	218.0
Secadora	0.55	1	1.5	0.83	301.1

Tabla 4. Demanda de electrodomésticos.

La demanda total de cada vivienda se calcula sumando los 544 kWh/año de las luminarias con los 2,459 kWh/año de los electrodomésticos, lo que da un total de 3,003 kWh/año por casa. Dado que el proyecto involucra 350 casas, el consumo energético total del condominio es de 1,051,050 kWh/año. El propósito del proyecto es que los paneles solares cubran el 50% de esta demanda, lo que equivale a 525,525 kWh/año, asegurando que la mitad del consumo total provenga de fuentes renovables, optimizando así la sostenibilidad del condominio.

C. Dimensionamiento paneles fotovoltaicos

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico es uno de los componentes más importantes del proyecto, ya que determina la cantidad de paneles solares necesarios, la potencia total del sistema, la configuración de los inversores y la disposición de los paneles en el terreno. Esta sección detalla cada uno de los pasos llevados a cabo para realizar el dimensionamiento correcto del sistema. Para justificar el proceso de selección del panel solar que se utilizó en el diseño del proyecto. Para ello, se ha evaluado una serie de paneles solares disponibles en el mercado, considerando diversos criterios técnicos y económicos. El objetivo es encontrar el panel más adecuado para cubrir el 50% de la demanda energética de las viviendas del condominio, con base en la eficiencia, el espacio que ocupan, la energía producida, y otros factores como la huella de carbono derivada del transporte.

En esta tabla se comparan el panel solar seleccionado con otros cuatro modelos comerciales de características similares. Se han evaluado aspectos como la potencia nominal, la eficiencia de conversión de luz solar, el área ocupada por cada panel, la cantidad de energía que produce cada uno anualmente, y el número de paneles necesarios para satisfacer la demanda total del proyecto. También se ha considerado la huella de carbono del transporte en función de la distancia desde la fábrica de cada fabricante, así como el costo aproximado por panel. La tabla comparativa que sigue a continuación permite visualizar las diferencias clave entre los modelos, destacando por qué el panel seleccionado resulta ser la mejor opción para este proyecto. Este análisis busca asegurar que el panel seleccionado sea el más eficiente en términos de espacio, costo, y sustentabilidad ambiental para las 350 viviendas del condominio, optimizando así tanto el área disponible como la inversión en tecnología fotovoltaica.

Panel Solar	Potencia Nominal (Wp)	Eficiencia (%)	Dimensiones (m ²)	Energía producida (kWh/año)	Paneles requeridos	Huella de Carbono (kg CO2 por kWh)	Costo (USD)
Jinko Solar Tiger	585	21.4	2.20	870	580	0.040	\$160
Jinko Solar Cheetah	370	19.3	1.89	550	1,911	0.025	\$175
LG NeON 2	350	18.6	1.72	525	2,002	0.024	\$250
REC Alpha Pure	580	21.3	2.18	865	607	0.039	\$280
SunPower Maxeon 3	575	21.2	2.19	860	632	0.041	\$230

Tabla 5. Comparación de paneles fotovoltaicos

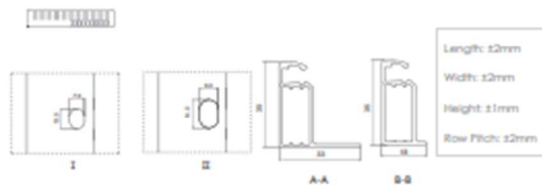
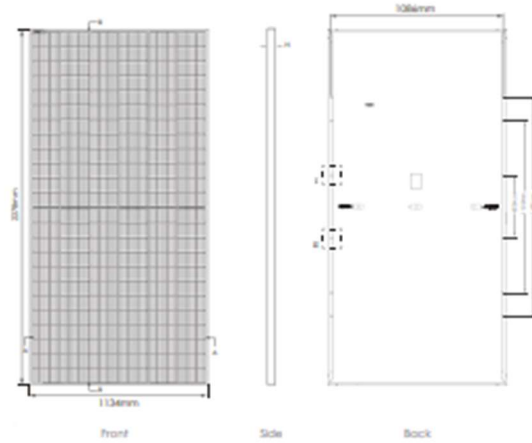
. Fuente: (Jinko, LG, REC, SunPower; 2024)

Para este proyecto se seleccionaron los paneles solares Jinko Solar Tiger Pro-585 W. El panel seleccionado se destaca por su relación favorable entre eficiencia, tamaño y energía producida, siendo ideal para cubrir la demanda energética del proyecto. Su cercanía a la fábrica en Jacksonville, Florida, Estados Unidos, reduce el impacto en la huella de carbono y el menor número de paneles requeridos reduce el área ocupada en el terreno, evitando problemas de ramas parciales que podrían surgir con otros paneles. y su costo competitivo en comparación con otros paneles de potencia similar. Si bien otras opciones como el SunPower Maxeon 3 y el REC Alpha Pure 580W tienen características comparables, su mayor costo y distancia de importación las hacen menos atractivas en términos de costo-beneficio.

Cada panel tiene una potencia nominal de 585 W y un voltaje en el punto de máxima potencia de 41.1 V, lo que los hace adecuados para conectarse en ramas en serie. Además, estos módulos son altamente resistentes a condiciones ambientales adversas, como el polvo y la humedad, y cuentan con una garantía de hasta 30 años para la producción de energía.

A continuación, se colocan sus especificaciones técnicas detalladamente con las que se estarán trabajando para el desarrollo de cálculos de la propuesta.

Engineering Drawings

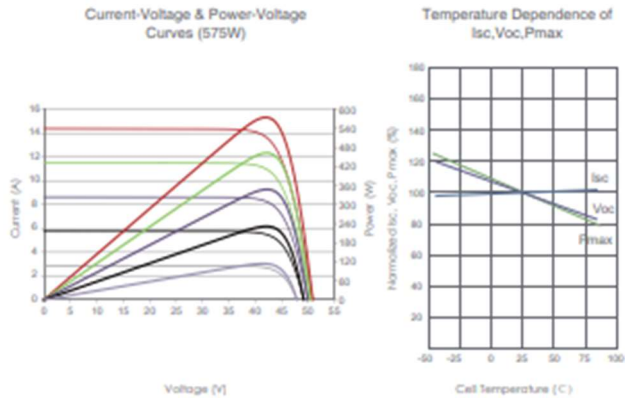


Packaging Configuration

[Two pallets = One stack]

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)
Weight	28 kg (61.73 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm' (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V		JKM580N-72HL4 JKM580N-72HL4-V		JKM585N-72HL4 JKM585N-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp	575Wp	432Wp	580Wp	436Wp	585Wp	440Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.92V	39.38V	42.07V	39.51V	42.22V	39.60V	42.37V	39.69V	42.52V	39.81V
Maximum Power Current (Imp)	13.48A	10.79A	13.55A	10.85A	13.62A	10.92A	13.69A	10.99A	13.76A	11.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	50.60V	48.06V	50.74V	48.20V	50.88V	48.33V	51.02V	48.46V	51.16V	48.60V
Short-circuit Current (Isc)	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A	14.39A	11.62A	14.47A	11.68A	14.55A	11.75A
Module Efficiency STC (%)	21.87%		22.07%		22.26%		22.45%		22.65%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.045%/°C									

Cuadro 3. Ficha técnica Tiger.

Fuente: (JA Solar, 2023)

1. Factor de forma

Utilizando la ficha técnica del modelo de panel fotovoltaico es importante ir incorporando los valores a las ecuaciones necesarias para el dimensionamiento, como lo puede ser la ecuación de factor de forma

Para el panel Jinko Solar Tiger Pro, se usan los siguientes valores:

IMPP=13.87 A

VMPP=41.1 V

ISC=14.61 A

VOC=48.7 V

$$FF = \frac{13.87 \times 41.1}{14.61 \times 48.7}$$

El cálculo del factor de forma para el panel seleccionado dio como resultado un valor de 0.802, lo cual indica que el panel tiene una buena relación entre sus dimensiones físicas y su capacidad para captar luz solar de manera efectiva. Este valor cercano a 1 sugiere que el diseño del panel permite una distribución adecuada de la energía captada en relación con su tamaño. En términos prácticos, un factor de forma de 0.802 significa que el panel puede integrarse eficientemente en espacios de instalación, maximizando el aprovechamiento del área disponible. Este factor es útil para confirmar que el panel tiene una forma geométrica que se adapta bien a las condiciones del proyecto, optimizando el espacio y facilitando la instalación.

2. Efectos de térmicos

Luego de haber seleccionado el panel y calculado su factor de forma, es crucial calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para el desarrollo del sistema. El objetivo del sistema es cubrir el 50% de la demanda energética de la urbanización, estimada en 525,525 kWh/año. Para esto es importante recurrir al cálculo y lograr determinar la temperatura a la que se encontrarán los paneles y por ende la posible pérdida de energía por temperatura que existirá en el contexto a evaluar.

$$T_{\text{célula}} = 25.7 \text{ } ^\circ\text{C} + (45 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}) \times \left(\frac{1000 \text{ W/m}^2}{800 \text{ W/m}^2} \right)$$

$$T_{\text{célula}} = 25.7 \text{ } ^\circ\text{C} + 25 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1.25$$

$$T_{\text{célula}} = 25.7 \text{ } ^\circ\text{C} + 31.25 \text{ } ^\circ\text{C} = 56.95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con la temperatura de célula calculada por medio de nuestra formula contando con la irradiancia de 1,000 y TNOCT de 45 en la sustitución se determina que la temperatura de célula en promedio anual será de 56.96 C. Con este valor es posible introducirlo a la ecuación de potencia, voltaje y corriente reales tomando en cuenta la pérdida de potencia por temperatura.

Potencia real:

Sustituyendo los valores:

$$P_{\text{stc}} = 585 \text{ W}$$

$$\beta = -0.29$$

$$T_{\text{célula}} = 56.95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{MT célula}} = 585 \text{ W} \times \left(1 + \frac{-0.29 \text{ W/}^\circ\text{C}}{100} \times (56.95 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}) \right)$$

$$P_{\text{MT célula}} = 585 \text{ W} \times (1 - 0.0029 \text{ W/}^\circ\text{C} \times 31.95 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$P_{\text{MT célula}} = 585 \text{ W} \times (1 - 0.0927)$$

$$P_{\text{MT célula}} = 585 \text{ W} \times 0.9073 = 530.77 \text{ W}$$

Corriente real:

Usando los valores:

$$I_{\text{mpp stc}} = 13.87 \text{ A}$$

$$\alpha = 0.05$$

$$T_{\text{célula}} = 56.95^\circ\text{C}$$

$$I_{\text{mpp T}} = 13.87 \text{ A} \times (1 + 0.0005 \text{ A}/^\circ\text{C} \times (56.95^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}))$$

$$I_{\text{mpp T}} = 13.87 \text{ A} \times (1 + 0.0005 \text{ A}/^\circ\text{C} \times 31.95^\circ\text{C})$$

$$I_{\text{mpp T}} = 13.87 \text{ A} \times (1 + 0.01598)$$

$$I_{\text{mpp T}} = 13.87 \text{ A} \times 1.01598 = 14.09 \text{ A}$$

Voltaje real:

Usando los valores:

$$V_{\text{mpp stc}} = 41.1 \text{ V}$$

$$\beta = -0.29$$

$$T_{\text{célula}} = 56.95^\circ\text{C}$$

$$V_{\text{mpp T}} = 41.1 \text{ V} \times \left(1 + \frac{-0.29 \text{ V}/^\circ\text{C}}{100} \times (56.95^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right)$$

$$V_{\text{mpp T}} = 41.1 \text{ V} \times (1 - 0.0029 \text{ V}/^\circ\text{C} \times 31.95^\circ\text{C})$$

$$V_{\text{mpp T}} = 41.1 \text{ V} \times (1 - 0.09266)$$

$$V_{\text{mpp T}} = 41.1 \text{ V} \times 0.90734 = 37.28 \text{ V}$$

Resultados:

Corriente máxima ajustada por temperatura = 14.09 A

Voltaje máximo ajustado por temperatura = 37.28 V

Potencia máxima ajustada por temperatura = 530.77 W

La siguiente tabla comparativa presenta los valores reales del circuito eléctrico para diversas temperaturas características de Jalapa, mostrando las condiciones de funcionamiento en días de temperatura alta y baja a lo largo del año, así como una referencia para la temperatura promedio. Esta comparación permite comprender mejor el comportamiento de las celdas fotovoltaicas ante variaciones estacionales de temperatura, aportando información clave para evaluar la eficiencia del sistema en distintos climas y optimizar su rendimiento en el contexto específico de la urbanización.

Temperaturas anualmente	Temperatura ambiente (C °)	Temperatura panel (C °)	Potencia real (W)	Voltaje real (V)	Corriente real (A)
Promedio	25.7	56.95	530.77	37.28	14.09
Máxima	28	59.25	526.91	37.00	14.10
Mínima	14	45.25	550.96	38.67	14.01

Tabla 6. Comparativa de temperaturas

Estos cálculos dan una idea clara de cómo varían los parámetros clave de un panel fotovoltaico bajo condiciones de temperatura elevadas. La potencia máxima es uno de los valores más afectados, ya que disminuye significativamente cuando la temperatura de la célula aumenta.

3. Dimensionamiento de paneles

Para calcular cuántos paneles solares se requieren, se utiliza la ecuación de número de módulos. Esto es importante ya que se cuenta con los valores ajustados al contexto de la ubicación de los paneles solares poder determinar la cantidad necesaria para proveer la energía demandada para la propuesta de proyecto.

$$\text{Número de módulos FV} = \frac{1,439.73 \text{ kWh/día} \times 1.2 \text{ (factor de seguridad)}}{0.53077 \text{ kW} \times 5.62 \text{ h/día}}$$

Sustituyendo los valores mencionados en la fórmula como lo son el consumo diario, potencia real y horas solares pico, se logró determinar que la cantidad de módulos fotovoltaicos a colocar del modelo Jinko Solar Tiger es de un total de 579.5 lo que se aproxima a 580 módulos para poder proveer el 50% de la energía eléctrica, el objetivo de la propuesta.

4. Orientación e inclinación

La inclinación de los paneles solares tiene un impacto directo en la cantidad de radiación solar que pueden captar a lo largo del día y del año. Un ángulo de inclinación óptimo asegura que los paneles reciban la mayor cantidad de radiación solar posible, lo cual es crucial para maximizar la producción de energía. Factores como la latitud, las estaciones del año y el recorrido solar influyen en el ángulo ideal de inclinación.

Para calcular la inclinación óptima de los paneles solares, se utilizó la fórmula de cálculo anual, esto para promover la eficiencia máxima del diseño fotovoltaico a lo largo del año sin que se tenga la necesidad de estar cambiando la inclinación, esto es oportuno ya que el contexto climático en Guatemala no cuenta con grandes cambios en los solsticios de invierno y verano. En este caso, las coordenadas de la urbanización en Jalapa, Guatemala, son 14°38'48.0"N (equivalente a una latitud de 14.65 grados).

$$\theta_{\text{anual}} = 0.87 \times 14.6^\circ + 3.1^\circ$$

$$\theta_{\text{anual}} = 12.702^\circ + 3.1^\circ = 15.8^\circ$$

Esto significa que, para maximizar la captación solar durante todo el año en Jalapa, el ángulo de inclinación recomendado para los paneles solares es de 15.8 grados.

Con la inclinación calculada de 15.8 grados, es necesario tomar en cuenta la proyección de sombras para que no existan interferencias entre las filas de paneles solares. Para esto se utilizó la fórmula a continuación para determinar nuestra proyección de sombras.

Para el desarrollo de este cálculo se tomará en cuenta que la altura del panel es de 2.27 metros y estará inclinado a 15.8 grados, por lo cual la altura de suelo al límite superior del panel constaría con la solución de altura del cateto opuesto, para encontrar la altura efectiva como:

$$h_{\text{efectiva}} = 2.27 \text{ m} \times \sin(15.8^\circ)$$

Contando con que la altura efectiva es igual a 0.619mts, es recomendable agregar un factor de seguridad a la altura para evitar problemas relacionados con encharcamientos o bases elevadas suele ser del orden de 0.2 a 0.5 metros adicionales a la altura efectiva del panel. Por lo cual para efectos de la propuesta se agregaron 0.381mts para que el valor de altura quede en $h = 1$ metro por cuestiones de facilidades de instalación y practicidad.

Esto significa que cada fila de paneles proyectará una sombra hacia la fila posterior. Esta es la distancia mínima que debe haber entre las filas para evitar que una fila bloquee la radiación solar de la siguiente. Para esto se recurre a la sustitución de valores en la ecuación de proyección de sombra.

$$d = \frac{1 \text{ m}}{\tan(61^\circ - 14.6^\circ)}$$

Ajustando la latitud y la altura efectiva del panel encontramos que la distancia de proyección de sombra es alrededor de 0.957 metros. Además de la distancia necesaria para evitar sombras, es importante agregar un margen de seguridad para el acceso de mantenimiento y posibles variaciones en la inclinación del terreno. Este margen también asegura que se puedan realizar labores de limpieza y mantenimiento de los paneles sin causar interrupciones en el funcionamiento del sistema. Un margen de seguridad típico es de 0.5 metros. Por lo cual por fines prácticos se opta por redondear la distancia entre paneles a 1.5 metros entre los mismos para evitar cualquier tipo de bloqueos de luz solar entre los mismos.

Consideraciones adicionales

Topografía del terreno: Dado que la urbanización se encuentra en una zona montañosa, se deben realizar ajustes en el espaciamiento en áreas donde la pendiente del terreno sea pronunciada. El análisis topográfico detallado garantiza que las filas de paneles estén adecuadamente espaciadas para compensar las variaciones en la inclinación del terreno.

Condiciones climáticas: Aunque el cálculo se ha realizado en función de su inclinación óptima anual, es importante tener en cuenta las variaciones en el clima local, como los días nublados o la presencia de polvo, que podrían afectar la eficiencia de los paneles si las sombras no se gestionan adecuadamente.

La orientación de los paneles solares es esencial para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año. En el hemisferio norte, esto implica orientar los paneles hacia el sur geográfico, mientras que en el hemisferio sur se orientarían hacia el norte. Dado que Jalapa, Guatemala, se encuentra en el hemisferio norte y cerca del ecuador, la mejor orientación para optimizar el rendimiento del sistema fotovoltaico es hacia el sur.

Con una latitud de aproximadamente 14.65° al norte, Jalapa se beneficia de una variación estacional de declinación solar relativamente pequeña en comparación con regiones más alejadas del ecuador. Esto significa que la captación solar puede mantenerse constante durante todo el año sin grandes ajustes estacionales. Por lo tanto, la orientación ideal de los paneles debe dirigirse hacia el sur geográfico, simplificando el cálculo y asegurando una máxima eficiencia durante todas las estaciones.

Para latitudes bajas como las de Guatemala, es recomendable seguir los principios de geometría solar para asegurar que los paneles capturen la mayor cantidad de energía posible a lo largo del año. Esta orientación constante hacia el sur proporciona un equilibrio ideal, optimizando la producción de energía sin necesidad de ajustes periódicos.

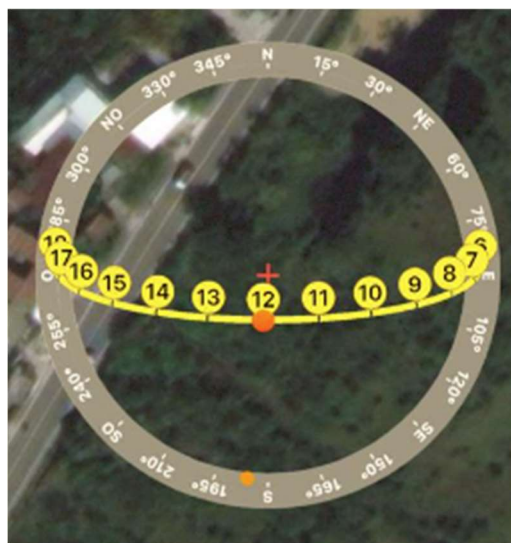


Figura 19. Carta solar.

La imagen capturada mediante la herramienta SunPath representa la trayectoria solar diaria en el terreno específico donde se desarrollará el proyecto fotovoltaico. En la imagen se observa una línea curva que indica el recorrido del sol desde el amanecer hasta el atardecer, con puntos numerados del 7 al 17, que representan las horas del día. Este recorrido proporciona una visualización clara de la posición del sol en el cielo durante todo el día, en relación con las direcciones cardinales. El punto correspondiente al mediodía solar (marcado con el número 12) está alineado directamente hacia el sur geográfico, lo que indica la máxima elevación del sol durante el día.

La línea de la trayectoria solar demuestra que, a lo largo de las horas del día, el sol permanece principalmente en la parte sur del cielo. En el hemisferio norte, como es el caso del terreno en Jalapa, Guatemala, el sol sale por el este, se eleva hacia el sur en el mediodía solar y finalmente se pone hacia el oeste. Esto confirma que la radiación solar proviene principalmente del sur durante las horas de mayor intensidad, haciendo que esta dirección sea la más adecuada para la orientación de los paneles solares.

Con base en este análisis, la imagen sugiere que la orientación hacia el sur es la más eficiente para optimizar la captación de energía solar en el proyecto.

5. Energía producida

Una vez determinado el número de paneles y su orientación e inclinación, se realizó una proyección de la energía generada por el sistema a lo largo del año. Con base en las condiciones climáticas y el rendimiento de los paneles, se estimó que el sistema generará 525,525 kWh/año, lo que representa el 50% de la demanda teórica de la urbanización.

Para estimar la energía generada por el sistema fotovoltaico, se tuvieron en cuenta tanto las condiciones de rendimiento de los paneles bajo temperaturas locales, como los datos de radiación solar disponibles. Con base en el promedio de horas solares pico (HSP) para la ubicación y las pérdidas por temperatura, se realizó una estimación de la producción energética anual del sistema. El cálculo se llevó a cabo considerando la fórmula de producción energética que incluye la potencia nominal de los paneles, los factores de corrección por temperatura y los HSP calculados para el sitio de estudio.

Este proceso asegura que la estimación sea precisa y que se tengan en cuenta las condiciones específicas del sitio, maximizando así la eficiencia del sistema y garantizando una generación de energía adecuada para cubrir el 50% de la demanda proyectada en la urbanización.

la producción diaria se calculó multiplicando la potencia total del sistema por las horas solares pico:

$$E_{diaria} = 580 \text{ paneles} \times 0.53077 \text{ kW} \times 5.62 \text{ h/día}$$

Donde N corresponde a la cantidad total de módulos fotovoltaicos (580)

P es la potencia de cada uno de los paneles de (0.530kW)

HSP es el promedio de horas solares pico (5.62 hrs)

Sustituyendo estos valores en la fórmula se logra encontrar la energía total generada por el sistema de 1,501 kW por día, por lo cual al multiplicar el resultado de esta fórmula por 365 se logra encontrar lo que sería nuestra producción de energía anualmente que resulta ser de un total de 548,047 kWh/a.

6. Configuración de paneles

Una parte fundamental del diseño del sistema fotovoltaico es la configuración de los paneles en conexiones en serie y en paralelo. Esto se realiza para optimizar tanto el voltaje como la corriente de salida del sistema.

El objetivo en el diseño del sistema fotovoltaico es lograr una configuración de 4 bloques equitativos, cada uno compuesto por 5 ramas de 29 paneles en serie. Esta decisión se toma para maximizar la eficiencia del sistema, evitando desequilibrios entre ramas con diferentes cantidades de paneles y garantizando que cada rama tenga un rendimiento uniforme. Al mantener cada rama con el mismo número de paneles, se asegura que tanto el voltaje como la corriente generada por las ramas sean constantes y estén optimizados, lo que favorece el rendimiento del inversor y reduce pérdidas de eficiencia. Esto es importante también ya que, al mantener los bloques divididos de manera equitativa, sabemos que todos los inversores estarán trabajando de la misma manera y no habrá alguno sobre dimensionado o que se necesario el recurrir a diferentes inversores para diferentes bloques. Esta distribución permite la eficiencia en el diseño y propuesta del sistema.

Dado que cada bloque tiene 145 paneles organizados en 5 ramas de 29 paneles en serie, se calcula el voltaje, la corriente y la potencia total de cada bloque:

Voltaje total por rama: Cada rama de 29 paneles conectados en serie genera un voltaje total de:

$$V_{\text{total serie}} = 29 \times 37.28 V = 1,081.12 V$$

Corriente total por bloque: La corriente por cada rama permanece constante en 14.09 A. Como tenemos 5 ramas en paralelo, la corriente total por bloque es:

$$I_{\text{total bloque}} = 5 \times 14.09 A = 70.45 A$$

Potencia total por bloque: La potencia total generada por cada bloque, considerando que cada panel tiene una potencia ajustada de 530.77 W, es:

$$P_{\text{total bloque}} = 145 \times 530.77 \text{ W} = 76,958.65 \text{ W}$$

D. Dimensionamiento de inversor

La selección del inversor adecuado es crucial para el rendimiento del sistema fotovoltaico, ya que este dispositivo es el encargado de convertir la corriente a la forma de energía que utilizan los electrodomésticos y la red eléctrica. Terminando el desarrollo de la potencia, corriente y voltaje de cada módulo de ramas, es necesario seleccionar un inversor que soporte las cantidades calculadas para obtener un manejo eficiente y seguro de la energía.

Voltaje de entrada: El inversor debe ser capaz de aceptar el voltaje máximo de entrada que resulta de la configuración en serie. Con un total de 29 paneles en serie, el voltaje es de 1,081.12 V, que está dentro del rango de operación de los inversores seleccionados.

Corriente máxima de entrada: El inversor debe poder manejar la corriente total que se genera en la configuración de paralelo. Para el sistema, la corriente total esperada es de aproximadamente 70.45 A

Potencia máxima de entrada: El inversor debe ser capaz de manejar la potencia total generada por los paneles solares en cada bloque. En este sistema, cada bloque de 145 paneles genera una potencia total de aproximadamente 76.96 kW. Esto significa que el inversor debe tener una capacidad superior a esta potencia para funcionar de manera eficiente sin exceder los límites operativos.

Inversor	Potencia nominal (kW)	Eficiencia (%)	Voltaje entrada (v)	Capacidad máxima (kW)	Garantía (años)	Costo (USD)
Huawei Sun2000-100 KTL-H1	100	98.6	200-1500	100	10	\$3,800
SMA Sunny Tripower CORE 1	100	98.4	500-1000	100	10	\$4,200
Fronius Eco 100-3-S	100	98.3	580-1000	100	7	\$4,000
Sungrow SG110CX	110	98.5	200-1500	110	10	\$3,900
SolarEdge Se100K	100	98.7	750-1000	100	12	\$4,300

Tabla 7. Comparación de inversores

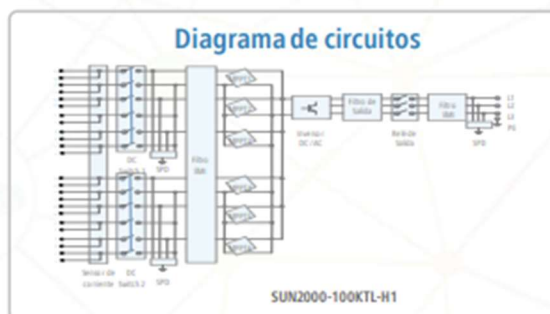
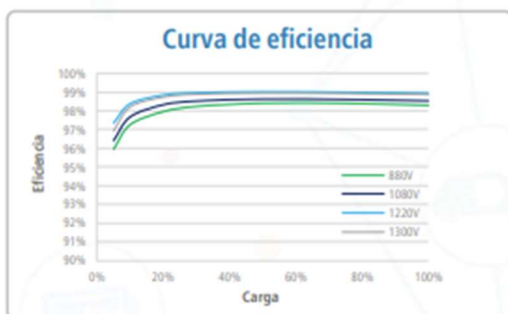
Fuente: (Huawei, SMA, Fronius, Sungrow, SolarEdge, 2024).

El Huawei SUN2000-100KTL-H1 se destaca por su alta eficiencia (98.6%), su rango de voltaje amplio (200-1,500 V), y su capacidad para manejar hasta 100 kW de paneles solares, lo que le otorga una gran flexibilidad y capacidad de adaptación a diversos proyectos. A su vez, el precio y su eficiencia lo convierten en una opción robusta para maximizar el rendimiento del sistema fotovoltaico. Aunque otras opciones, como el Sungrow SG110CX y el SolarEdge SE100K, tienen características competitivas, el Huawei SUN2000-100KTL-H1 ofrece un equilibrio perfecto entre rendimiento, flexibilidad, costo, y compatibilidad, lo que lo hace la mejor elección para este proyecto.

Inversor de String Inteligente (SUN2000-100KTL-H1)



Especificaciones técnicas	SUN2000-100KTL-H1
	Eficiencia
Eficiencia máxima	99.0%
Eficiencia europea	98.8%
	Entrada
Máx. voltaje de entrada	1,500 V
Máx. corriente por MPPT	22 A
Máx. corriente de cortocircuito por MPPT	33 A
Voltaje de entrada inicial	650 V
Rango de voltaje de operación de MPPT	600 V ~ 1,500 V
Voltaje nominal de entrada	1,080 V
Cantidad de entradas	12
Cantidad de MPPT	6
	Salida
Potencia nominal activa de AC	100,000 W @40°C
Máx. potencia aparente de AC	105,000 VA @35°C
Máx. potencia activa de AC (cosφ=1)	105,000 W @35°C
Voltaje nominal de salida	800 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de AC	50 Hz / 60 Hz
Corriente de salida nominal	72.2 A
Máx. corriente de salida	80.2 A
Rango de factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	< 3%
	Protección
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Si
Protección anti-isla	Si
Protección contra sobrecorriente de AC	Si
Protección contra polaridad inversa de DC	Si
Monitoreo de fallas en strings de sistemas fotovoltaicos	Si
Protector contra sobrecorriente de DC	Tipo II
Protector contra sobrecorriente de AC	Tipo II
Detección de resistencia de aislamiento DC	Si
Unidad de Monitoreo de la Corriente Residual	Si
	Comunicación
Visualización	Indicadores LED, Bluetooth + APP
RS485	Si
USB	Si
Comunicación por línea de alimentación eléctrica (PLC)	Si
	General
Dimensiones (ancho x altura x profundidad)	1,075 x 605 x 310 mm (42.3 x 23.8 x 12.2 pulgadas)
Peso (con soporte de montaje)	77 kg (169.8 lb.)
Temperatura de operación	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Método de enfriamiento	Convección natural
Máx. altitud de operación	4,000 m (13,123 ft.)
Humedad relativa	0 ~ 100%
Conector de DC	Amphenol UTX
Conector de AC	Terminal de PG resistente al agua + Conector OT
Grado de protección	IP65
Topología	Sin transformador
	Cumplimiento de normas (Más información disponible previa solicitud)
Certificado	EN 62 109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Código de red	IEC 61727, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, ABNT NBR IEC 62116, RD 1699, RD 661, RD 413, UNE 206007-1 IN, UNE 2006006 IN, P.O. 12.3



Cuadro 4. Ficha técnica SUN2000-100KTL-H1.

Fuente: (Huawei, 2022)

El texto y las figuras reflejan el estado técnico actual al momento de la impresión. Sujeto a cambios técnicos. Se exceptúan errores y omisiones. Huawei no será responsable de errores de impresión o de otro tipo. Para obtener mayor información, visite el sitio web solar.huawei.com. Versión No. 01-201807

Tomando en cuenta que, Huawei SUN2000-100KTL-H1 cumple con todos los requisitos del sistema. Este inversor puede manejar hasta 1,500 V, lo que lo hace adecuado para manejar los 1,081.12 V generados por cada rama de paneles. Además, su capacidad de 100 kW permite gestionar eficientemente la potencia total generada por cada bloque (aproximadamente 76.96 kW), mientras que su capacidad de manejo de 100 A de corriente asegura que las ramas en paralelo funcionen dentro de los límites de operación seguros. Por lo tanto, se seleccionaron estos inversores para gestionar esta potencia

Este inversor también ofrece una alta eficiencia del 99%, lo que contribuye a maximizar la conversión de la energía generada por los paneles en corriente alterna para su uso en el sistema eléctrico.

Especificaciones demandadas	Especificaciones inversor
70.45 A	132 A
1,081.12 V	1,500 V
76.96 kW	100 kW

Tabla 8. Comparación Inversor-Demanda.



Figura 20. Disposición de paneles

La imagen muestra la disposición planificada de los paneles solares en bloques y ramas, organizados en filas regulares. Este diseño optimiza el uso del espacio disponible en el área verde del proyecto, asegurando una instalación eficiente y ordenada de los paneles. La

alineación permite maximizar la captación de radiación solar y facilita el mantenimiento al mantener un diseño sistemático y accesible.

E. Cálculo de la huella de carbono

Para realizar el cálculo de la huella de carbono total del sistema fotovoltaico, es necesario desglosar cada uno de los factores que contribuyen a las emisiones de CO₂. A continuación, se presenta el procedimiento formal y detallado para determinar la huella de carbono generada por la fabricación de los paneles solares, inversores, y transporte hacia Guatemala.

La fabricación de paneles solares implica el uso de una gran cantidad de materiales como el silicio, el vidrio, y los metales. Además, el proceso consume energía, que, dependiendo de la fuente, genera emisiones de CO₂. Para los paneles seleccionados (JA Solar Tiger de 530.77 W), se calcula la huella total, 580 paneles. Emisiones estimadas por la fabricación de paneles: Según varios estudios, la huella de carbono asociada a la fabricación de un panel solar puede variar entre 0.020 y 0.040 kg de CO₂/kWh de capacidad instalada. Para este caso, se asume un valor de 0.040 kg CO₂/kWh.

Número total de paneles solares: 580 paneles.

Emisiones por fabricación de panel solar: 0.04 KgCO₂/kWh.

$$\text{Energía anual} = 0.530 \text{ kW} \times 5.6 \text{ h/día} \times 365 \text{ días}$$

$$\text{Energía anual} = 1084.1 \text{ kWh/año}$$

Cada panel genera: 10,845.1 kWh/panel en 10 años, tomando como referencia el valor encontrado anteriormente de energía generada por un panel en 10 años.

$$10,845.1 \text{ kWh} \times 0.04 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 433.80 \text{ kg CO}_2/\text{panel}$$

$$433.80 \text{ kg CO}_2/\text{panel} \times 580 \text{ paneles} = 251,604 \text{ kg CO}_2$$

El inversor seleccionado es el Huawei SUN2000-100KTL-H1, con una capacidad de 100 kW. Inversores seleccionados: 4 inversores. Para un inversor solar de esta capacidad, se estima una huella de carbono de 7 kg de CO₂ por kWh de capacidad.

Número total de inversores: 4 inversores.

Emisiones por fabricación de cada inversor: 150 kgCO₂/inversor.

Huella de carbono total de los inversores:

$$150 \text{ kgCO}_2/\text{inversor} \times 4 \text{ inversores} = 600 \text{ kgCO}_2$$

El transporte desde la planta de fabricación en Jacksonville, Florida, Estados Unidos, hasta Jalapa, Guatemala, involucra transporte por carretera y marítimo. Para este paso, es necesario tomar en cuenta las emisiones del transporte de los paneles e inversores desde la fábrica de Jinko Solar en Jacksonville, Florida, hasta Jalapa, Guatemala.

Distancia total (transporte marítimo + terrestre): aproximadamente 3,200 km.

Estimación de emisiones de CO₂ por transporte marítimo y terrestre: 0.020 kgCO₂/tonelada/km. Peso total estimado del sistema (paneles + inversores): aproximadamente 15 toneladas.

$$3,200 \text{ km} \times 15 \text{ toneladas} \times 0.020 \text{ kgCO}_2/\text{tonelada}/\text{km} = 960 \text{ kgCO}_2$$

Posteriormente es necesario realizar la sumatoria de las emisiones generadas por el equipo a utilizar en la propuesta del sistema fotovoltaico como las emisiones generadas por transporte para obtener la cantidad de emisiones totales a generar.

$$\begin{aligned} 251,604 \text{ kg CO}_2 \text{ (paneles)} + 600 \text{ kg CO}_2 \text{ (inversores)} + 960 \text{ kg CO}_2 \text{ (transporte)} \\ = 253,164 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

La huella de carbono del sistema se calcula a partir de la cantidad de energía generada por el sistema fotovoltaico y el factor de emisión de CO₂ asociado con la generación de electricidad a partir de fuentes no renovables. Este análisis es fundamental para evaluar el impacto ambiental del proyecto.

Energía generada por el sistema: Se ha estimado que el sistema generará aproximadamente 525,525 kWh/año, lo que representa el 50% de la demanda energética de la urbanización. Este valor se utilizó para calcular las emisiones evitadas.

Factor de emisión de la red eléctrica: En Guatemala, se estima que la electricidad generada a partir de fuentes fósiles emite aproximadamente 0.40 kg CO₂/kWh. Este valor fue utilizado como base para calcular las emisiones asociadas con la generación de electricidad convencional.

Cálculo de emisiones evitadas

La huella de carbono evitada se calcula multiplicando la energía generada por el sistema por el factor de emisión:

$$525,525 \text{ kWh/año} \times 0.04 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 21,021 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

Esto significa que cada año se dejarán de emitir 21,021 kg de CO₂ por la implementación del sistema fotovoltaico. La reducción de esta cantidad de emisiones es crucial en la lucha contra el cambio climático, ya que cada kilogramo de CO₂ evitado contribuye a mitigar el impacto ambiental asociado con la producción de energía a partir de combustibles fósiles.

Pago de la deuda de la huella de carbono: Para calcular en qué momento se paga la "deuda" de carbono del sistema, que fue calculada previamente como 253,164 kg de CO₂, se divide la huella de carbono generada por la cantidad de CO₂ que se deja de emitir anualmente:

$$\frac{253,164 \text{ kgCO}_2}{21,021 \text{ kgCO}_2/\text{año}} \approx 12 \text{ años}$$

Para calcular cuánto más se ahorrará en términos de emisiones de carbono una vez que la deuda de carbono esté pagada y así lograr una reducción del 20% en las emisiones totales, se procede de la siguiente manera:

Total de la huella de carbono sin el sistema solar: La demanda energética total del condominio es de 1,051,050 kWh/año. Si no se implementara el sistema solar, toda esa energía sería suministrada por la red eléctrica, lo que generaría emisiones de CO₂.

$$1,051,050 \text{ kWh/año} \times 0.04 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \\ \approx 42,048.39 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

Esto corresponde a la huella de carbono total producida en un transcurso de 10 años para la urbanización sin ningún sistema de abastecimiento de energía solar.

Se quiere lograr una reducción del 20% en las emisiones totales que hubieran ocurrido sin el sistema fotovoltaico. Una vez que el sistema fotovoltaico paga su deuda de carbono en 12 años, las emisiones ahorradas cada año a partir de ese momento serán 42,048.39 kg de CO₂/año (la huella anual que el sistema evita).

$$42,048.39 \text{ kgCO}_2/\text{año} \times 10 \text{ años} = 420,483.9 \text{ kgCO}_2$$

$$420,483.9 \text{ kgCO}_2 \times 0.2 = 84,096.78 \text{ kgCO}_2$$

$$\frac{84,096.78 \text{ kgCO}_2}{21,024.2 \text{ kgCO}_2/\text{año}} \approx 4 \text{ años}$$

Después de 12 años, el sistema fotovoltaico habrá pagado su deuda de carbono. En los siguientes 4 años, las emisiones evitadas permitirán lograr la meta del 20% de reducción en las emisiones de CO₂.

Además, esta reducción en la huella de carbono no solo tiene beneficios ambientales; también contribuye a mejorar la calidad del aire y, por ende, la salud pública. Al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, se reduce la formación de smog y otros contaminantes que afectan la salud respiratoria de la población. A largo plazo, la adopción de tecnologías de energía renovable, como los paneles solares, se traduce en un futuro más saludable y sostenible para las comunidades.

F. Cálculo de ahorro y tiempo de recuperación (ROI)

Para estimar el retorno de inversión (ROI) del sistema de paneles solares propuesto, es esencial actualizar el costo inicial de instalación, teniendo en cuenta los precios actuales de los paneles solares JA Solar Tiger de 585 W y los inversores Huawei SUN2000-100KTL-H1, así como el transporte y mantenimiento a lo largo del tiempo.

Costo de paneles e inversores: El costo actual por cada panel JA Solar Tiger 530.77 W se estima en Q1,200 por unidad. Dado que se requieren 580 paneles para cubrir el 50% de la demanda energética del condominio y el costo de los inversores Huawei SUN2000-100KTL-H1 es de aproximadamente Q35,000 por unidad. Para el sistema propuesto, se requieren 4 inversores, lo que da un total de:

$$\text{Costo de paneles} = 580 \times Q1,200 = Q696,000$$

$$\text{Costo de inversores} = 4 \times Q35,000 = Q140,000$$

Costo de transporte: El transporte de los paneles e inversores desde la planta de fabricación en Jacksonville, Florida, a Jalapa, Guatemala, se estima en Q50,000, tomando en cuenta los costos de transporte marítimo y terrestre para aproximadamente 15 toneladas de equipo.

Costo de instalación: La instalación del sistema completo (paneles, inversores, estructura de montaje, y cableado) se estima en Q600,000 para cubrir todos los gastos de mano de obra, equipos de instalación y materiales auxiliares.

Costo de mantenimiento: Se estima un costo anual de mantenimiento del sistema en Q20,000 que incluye la limpieza de paneles, revisión de los inversores, y otros ajustes técnicos necesarios.

Costo total de inversión: Sumando los costos de paneles, inversores, transporte e instalación, se obtiene un costo total de inversión inicial de 1,486,00 Q

La inversión inicial en el sistema puede considerarse a partir de los ahorros proyectados. La recuperación de la inversión se calcula como el tiempo que tarda en amortizarse la inversión total basada en los ahorros anuales. El sistema generará aproximadamente 525,604.85 kWh/año. Con la tarifa eléctrica ajustada para Jalapa de Q1.5819 por kWh (según la categoría de baja tensión simple), el ahorro anual estimado es:

$$525,604.85 \text{ kWh/año} \times Q1.5819/\text{kWh} \approx Q830,490.12 \text{ anuales}$$

Cálculo del tiempo de recuperación: Si el costo total de inversión en el sistema es del tiempo de recuperación se calcula dividiendo el costo inicial total entre el ahorro anual:

$$\text{ROI} = \frac{Q1,486,000}{Q830,490.12} \approx 1.79 \text{ años}$$

Esto indica que el retorno de la inversión se alcanzará en aproximadamente 1 año y 9 meses, después de lo cual, el sistema comenzará a generar ahorros netos. El análisis financiero muestra que la instalación del sistema fotovoltaico no solo es económicamente viable, sino que además proporciona un retorno de inversión (ROI) rápido en menos de 2 años. A partir de ese momento, los ahorros anuales acumulados permitirán un alivio económico significativo para los propietarios, al tiempo que el sistema contribuye de manera considerable a la reducción de emisiones de carbono y al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

IX. Conclusiones

A. General

El presente estudio ha cumplido con los objetivos propuestos, demostrando la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema fotovoltaico en la urbanización de Jalapa, Guatemala. A través de un análisis detallado de la demanda energética de las viviendas y un cuidadoso dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se ha logrado cubrir el 50% del consumo energético calculado de cada casa, esto se consiguió con un diseño de 4 bloques que cuentan con 5 ramas de 29 paneles cada uno, dando así el total de 580 paneles fotovoltaicos Jinko Solar Tiger 585 W, para poder abastecer los 525,525 kWh/año como se planteó en la metodología del proyecto.

B. Específicas

Se han alcanzado todos los objetivos específicos. En primer lugar, se logró dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico para cubrir la mitad de la demanda energética anual de las viviendas, que asciende a 3,003 kWh/año por casa. Este cálculo se basó en la demanda de iluminación y de los circuitos de fuerza, tal como se detalló en la metodología. El diseño final del sistema asegura una distribución eficiente de los paneles solares en la lotificación de las viviendas, cumpliendo con los marcos regulatorios y legales del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Jalapa, sin comprometer los límites legales de ocupación y uso del suelo.

Adicionalmente, se ha logrado una reducción significativa de la huella de carbono. Gracias a la integración de los paneles solares, la urbanización ha reducido su huella de carbono en un 20% en un periodo de tiempo menor al establecido de 25 años, lográndolo así en un plazo de 16 años, lo que refuerza el compromiso del proyecto con la sostenibilidad ambiental. Esta reducción contribuye a una menor dependencia de fuentes de energía convencionales y a una disminución del impacto ambiental, que era uno de los objetivos fundamentales del proyecto.

El análisis financiero confirmó la viabilidad económica del sistema, con un retorno de inversión (ROI) inferior a dos años, consiguiendo el objetivo en 1 año y 9 meses. Esto respalda la sostenibilidad económica a largo plazo del proyecto, haciendo que la inversión inicial sea recuperada en un periodo corto y garantizando ahorros energéticos considerables para los residentes.

X. Recomendaciones

1. Instalación de un banco de baterías: Se recomienda considerar la integración de un banco de baterías al sistema fotovoltaico. Esto permitirá almacenar energía excedente generada durante las horas pico de irradiación, garantizando un suministro eléctrico continuo durante la noche o en días nublados, mejorando así la autonomía del sistema.
2. Incorporación de áreas de servicios: Es importante prever áreas de servicios esenciales como pozos de agua y sistemas de iluminación para garitas de vigilancia. Estas instalaciones son críticas para garantizar el funcionamiento integral y la seguridad de la urbanización, maximizando los beneficios del sistema energético diseñado.
3. Optimización de la conexión y transporte de energía: Se debe dejar en claro qué servicios eléctricos se cubrirán con el sistema fotovoltaico y cómo se transportará la energía generada. Es recomendable priorizar el uso de cableado subterráneo para reducir pérdidas energéticas, proteger los cables de daños externos y mantener un diseño estético en la urbanización.
4. Gestión de materiales al final de su vida útil: Es fundamental considerar un plan de manejo de los materiales al término de su vida útil, especialmente para los paneles solares y los inversores. Se sugiere coordinar con los fabricantes para el reciclaje de los componentes, minimizando el impacto ambiental y asegurando el cumplimiento de normativas de sostenibilidad.
5. Analizar el sitio a través de estudios de campo: Aunque los datos de irradiancia y condiciones climáticas fueron utilizados para el desarrollo del proyecto, se recomienda realizar estudios de campo en el sitio de instalación para obtener mediciones precisas.

XI. Bibliografía

- Amiri, A., Ottelin, J., & Sorvari, J. (2019). *Are LEED-certified buildings energy-efficient in practice?. Sustainability, 11(6), 1672. <https://doi.org/10.3390/su11061672>*
- Arencibia-Carballo, G. (2016). *La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 17(9), 1-4.*
- Badii, M. H. (2008). *La huella ecológica y sustentabilidad. Revista Daena (International Journal Of Good Conscience), 3(1).*
- Bhadra, P. (2017). *Design and performance analysis of a grid-connected solar photovoltaic system. Renewable Energy, 114, 691-700. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.098>*
- Castillo, R. M. (2007). *Algunos aspectos de la huella ecológica. Intersedes: Revista de las sedes regionales, 8(14), 7-10.*
- Castillo-García, R. F. (2020). *Hacia el desarrollo urbano sostenible de la Megalópolis Lima Callao, Perú, al 2050. Paideia XXI, 10(1), 149-172.*
- Castillo Ramírez, A., Villada Duque, F., & Valencia Velásquez, J. A. (2014). *Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. Tecnura, 18(39), 77-93.*
- Catalán Alonso, H. (2021). *Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. Problemas del desarrollo, 52(204), 59-83.*
- Chi, B., Lu, W., Ye, M., Bao, Z., & Zhang, X. (2020). *Construction waste minimization in green building: A comparative analysis of LEED-NC 2009 certified projects in the US and China. Journal of Cleaner Production, 256, 120749.*
- Depetris, L., Ferreyra, D., & Britch, J. *Estimación de la reducción de la huella de carbono provocada por la instalación de paneles solares fotovoltaicos en UTN Facultad Regional San Francisco.*
- de León Arcila, R. (2018). *Sueño, ciclos circadianos y obesidad. Archivos en Medicina Familiar, 20(3), 139-143.*
- Díaz-Rodríguez, J., Pabón-Fernández, L., & Pardo-García, A. (2012). *Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. Lámpsakos, (7), 69-77.*
- Diaz, R., & Nguyen, T. D. (2021). *Performance analysis of large-scale solar PV installations using remote sensing data. Solar Energy, 226, 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.006>*
- Ferrara, C., & Philipp, D. (2012). *Why do PV modules fail? Energy Procedia, 15, 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.046>*

- García, R. M., Camacho, J. M., & Alcayde, A. (2021). *Advances in Solar Energy towards Efficient and Sustainable Systems*. *Sustainability*, 13(11), 6295. <https://doi.org/10.3390/su13116295>
- Gong, X., & Kulkarni, S. (2018). *Power inverter efficiency calculation methods*. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(4), 2935-2947. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2782825>
- Jiménez-Rubio, G., Solís-Chagoyán, H., Domínguez-Alonso, A., & Benítez-King, G. (2011). *Alteraciones del ciclo circadiano en las enfermedades psiquiátricas: papel sincronizador de la melatonina en el ciclo sueño-vigilia y la polaridad neuronal*. *Salud mental*, 34(2), 167-173.
- Kalogirou, S. A. (2013). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems (2nd ed.)*. Academic Press.
- Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2012). *Energías renovables y cambio climático*. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 37-60.
- Liu, Z., Li, X., & Zeng, Z. (2015). *Shadow effects on the performance of a solar panel: Experimental and theoretical evaluations*. *Energy Reports*, 1, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.04.004>
- Malcervelli, D., Fischman, M. L., & Cisale, H. *Sustentabilidad energética y energías renovables*. *PIUBAES Programa Interdisciplinario*, 17.
- Meier, P. J. (2013). *Solar PV Power: Design, Installation, and Maintenance*. McGraw-Hill Education.
- Moser, D., Auer, R., & Spertino, F. (2018). *Yield and loss calculation in photovoltaic plants*. *Renewable Energy*, 119, 904-911. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.014>
- Nelson, J. (2017). *The Physics of Solar Cells (2nd ed.)*. Imperial College Press.
- Noguera-Salas, O., Pinto-García, R. A., & Villarreal-Padilla, J. E. (2018). *La eficiencia de los nuevos materiales fotosensibles usados en la fabricación de paneles solares*. *Iteckne*, 15(1), 7-16.
- Nwulu, N. I., & Xia, X. (2017). *Optimal dispatch for a hybrid PV-wind-diesel-battery system using an enhanced genetic algorithm*. *Renewable Energy*, 101, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.042>
- Oliva, H. (2016). *Comunidades SE quedan sin servicio de energía eléctrica*. Prensa Libre. Disponible en: https://www.prensalibre.com/ciudades/jalapa/suspenden-electricidad-comunidades-san-pedro-pinula-jalapa_0_1166283528-html/

Osman, M., Abdelaziz, A. Y., & Ali, E. S. (2016). *Optimal design of grid-connected PV systems using hybrid optimization approach*. *Energy Conversion and Management*, 112, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.047>

Perales, T. (2007). *Instalación de paneles solares térmicos*. Creaciones Copyright.

Prieto-Sandoval, V., Jaca-García, C., & Ormazabal-Goenaga, M. (2017). *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*.

Quesada, J. L. D., & y Certificación, A. E. D. N. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Aenor.

Quiñones, P. M., & Ojeda, W. I. (2020). *Colonialidad del poder, desarrollo urbano y desposesión mapuche: urbanización de tierras mapuche en la Araucanía chilena*. *Scripta Nova*, 24.

Ramli, M. A. M., Bouchekara, H. R. E., & Alghamdi, A. S. (2017). *Optimal sizing of PV/wind/diesel hybrid microgrid system using multi-objective self-adaptive differential evolution algorithm*. *Renewable Energy*, 121, 594-605. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.062>

Ribeiro, S. M., Bonilla, O. H., & Lucena, E. M. P. (2018). *Influência da sazonalidade e do ciclo circadiano no rendimento e composição química dos óleos essenciais de Croton spp. da Caatinga*. *Iheringia, Série Botânica*, 73(1), 31-38.

Rodríguez-Gallegos, C. D., Ramírez-Elizondo, L. M., & Guerrero, J. M. (2018). *Energy management system for interconnected renewable energy microgrids*. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(4), 1705-1716. <https://doi.org/10.1109/TEC.2018.2810459>

Roitman, S. (2008). *Planificación urbana y actores sociales intervinientes: el desarrollo de urbanizaciones cerradas*. *Scripta nova*, 12(270), 1-16.

Roldán Vilorio, J. (2013). *Energías renovables. Lo que hay que saber*. Ediciones Paraninfo, SA.

Sandoval-Ruiz, C. E. C. I. L. I. A. (2018). *Arquitectura Reconfigurable y Redes Inteligentes aplicadas al Diseño Sostenible en Smart City*. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, 7(12), 1-19.

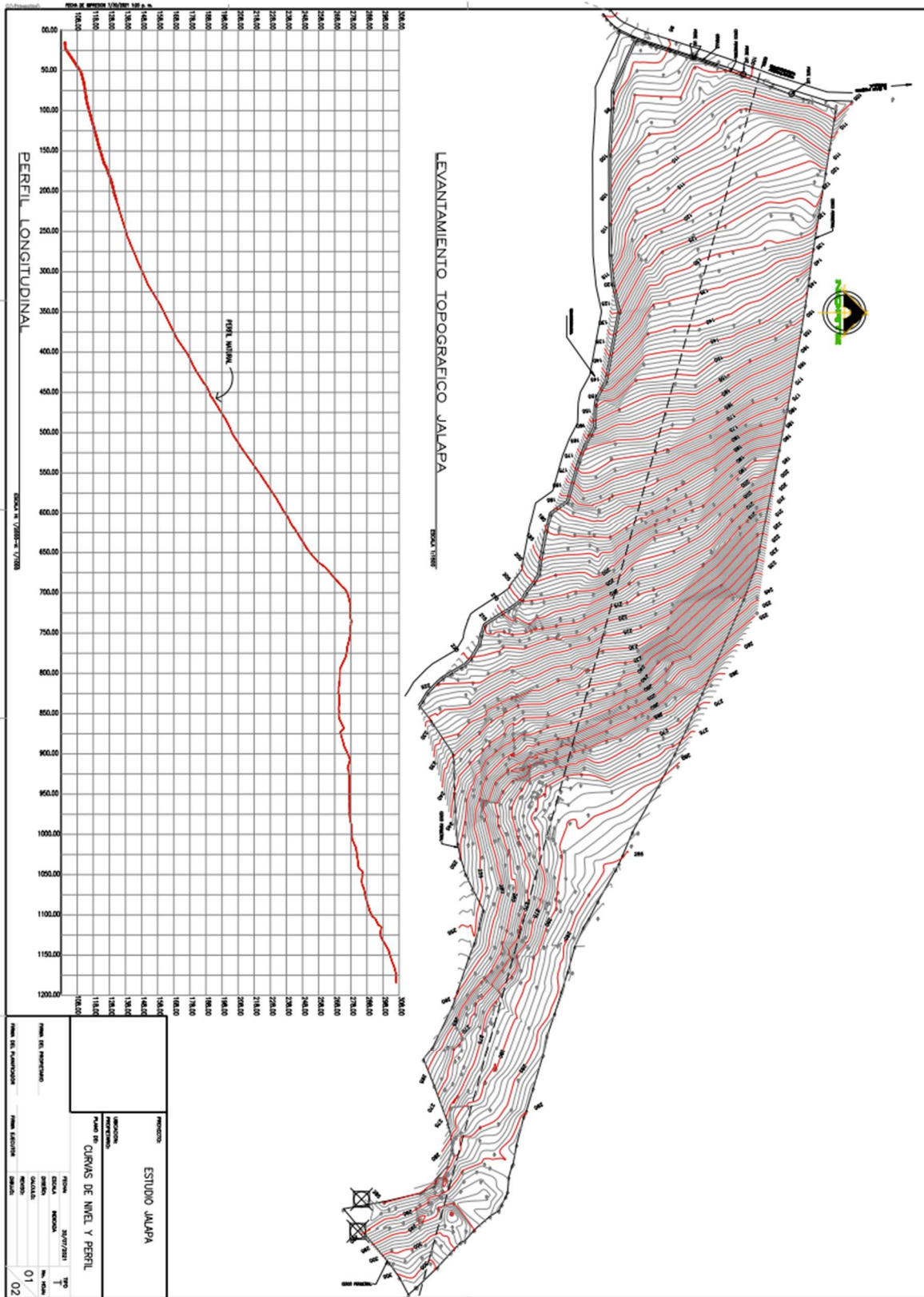
Sandoval-Ruiz, C. E. C. I. L. I. A. (2017). *Diseño Arquitectónico Inteligente aplicando conceptos de Urbótica y Sostenibilidad*. *Revista Electrónica Científica Perspectiva*, 6(11), 18-27.

Santiago, O. B. *Ciclo Circadiano y Biorritmos*.

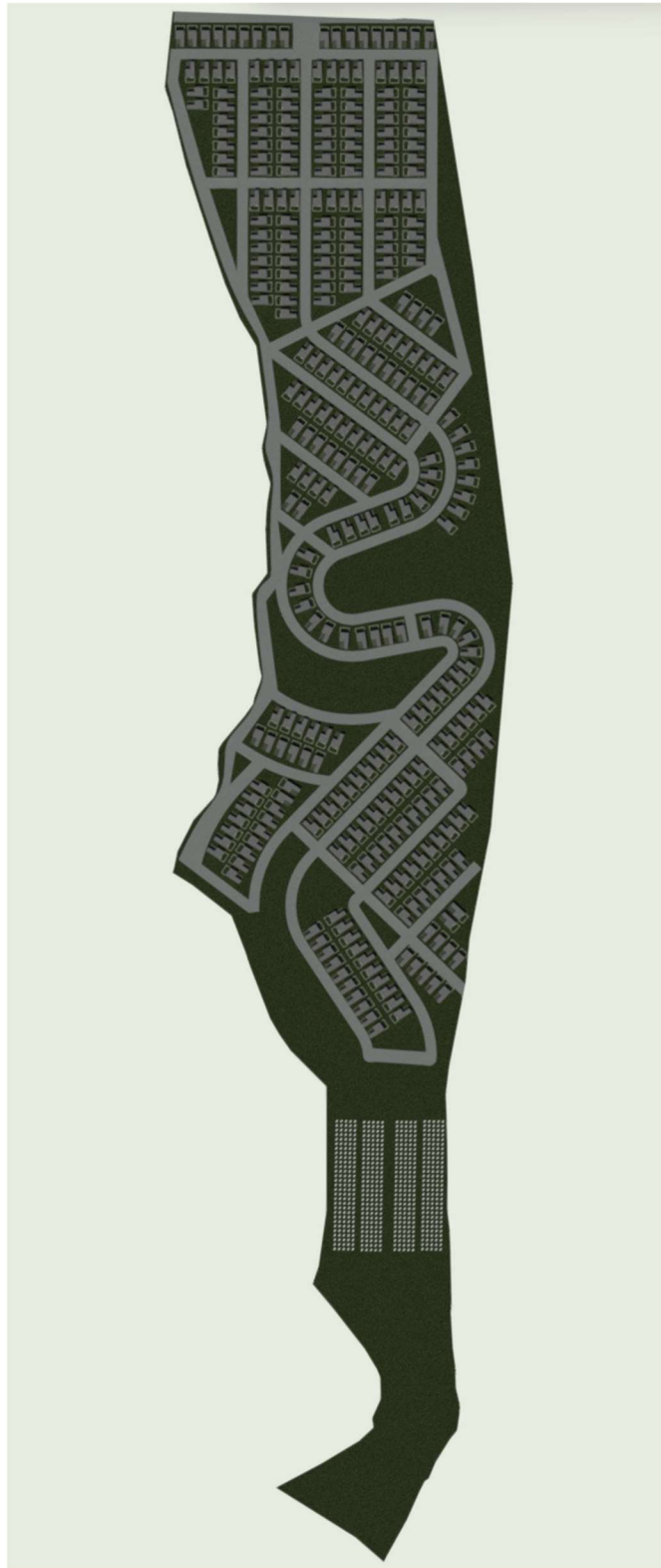
Sharma, S., & Kothari, D. P. (2016). Optimal sizing and economic analysis of standalone PV system for Indian residential sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 611-621. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.024>

Strejoiu, C. V., & Lazaroiu, G. (2023). A Comprehensive Overview of Photovoltaic Technologies and Their Efficiency for Climate Neutrality. Sustainability, 15(23), 16297.

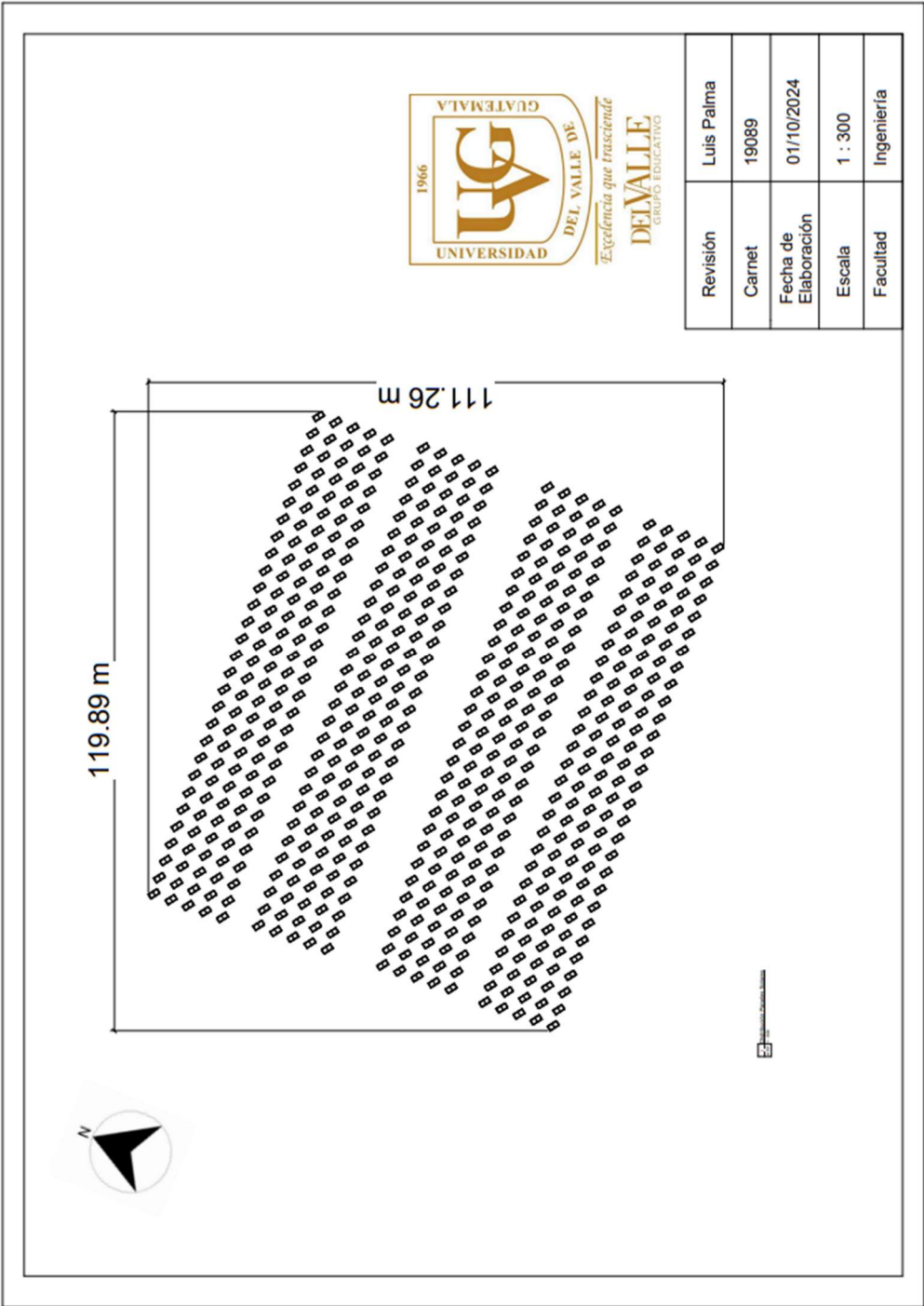
3. Plano curvas de nivel



4. Plano ubicación de paneles eléctricos



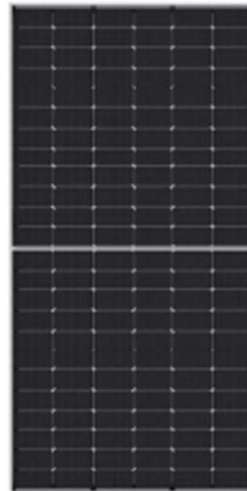
5. Plano distribución de paneles



B. Hojas técnicas
 1. Jinko Solar Tiger

www.jinkosolar.com

Tiger Neo N-type 72HL4-(V) 565-585 Watt MONO-FACIAL MODULE



N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

- IEC61215(2016), IEC61730(2016)
- ISO9001:2015: Quality Management System
- ISO14001:2015: Environment Management System
- ISO45001:2018 Occupational health and safety management systems

Key Features



SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Hot 2.0 Technology

The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

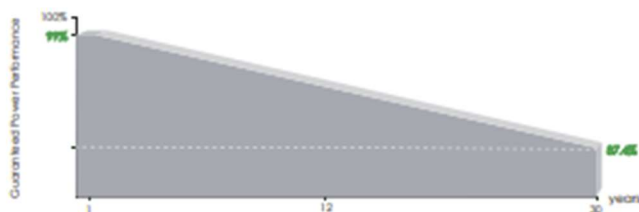


Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

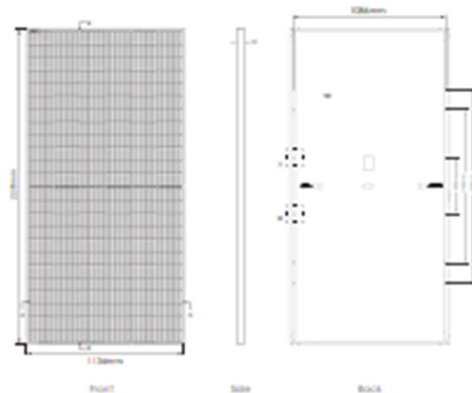


12 Year Product Warranty

30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

Engineering Drawings

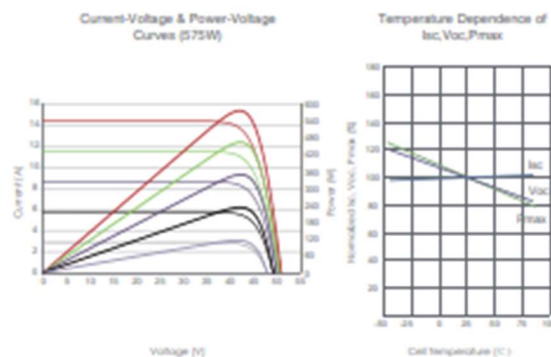


Packaging Configuration

[Two pallets = One stack]

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

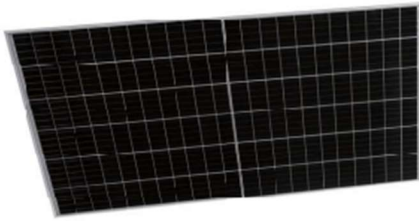
Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)
Weight	28 kg (61.73 lbs)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm² [+]: 400mm, [-]: 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM565N-72HL4 JKM565N-72HL4-V		JKM570N-72HL4 JKM570N-72HL4-V		JKM575N-72HL4 JKM575N-72HL4-V		JKM580N-72HL4 JKM580N-72HL4-V		JKM585N-72HL4 JKM585N-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp	575Wp	432Wp	580Wp	436Wp	585Wp	440Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.92V	39.38V	42.07V	39.51V	42.22V	39.60V	42.37V	39.69V	42.52V	39.81V
Maximum Power Current (Imp)	13.48A	10.79A	13.55A	10.85A	13.62A	10.92A	13.69A	10.99A	13.76A	11.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	50.60V	48.06V	50.74V	48.20V	50.88V	48.33V	51.02V	48.46V	51.16V	48.60V
Short-circuit Current (Isc)	14.23A	11.49A	14.31A	11.55A	14.39A	11.62A	14.47A	11.68A	14.55A	11.75A
Module Efficiency STC (%)	21.87%		22.07%		22.26%		22.45%		22.65%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.045%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

*STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📏 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📏 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

2. Jinko Solar Cheetah



Cheetah Plus HC 66M
360-380 W_{att}
 MONO PERC HALF CELL MODULE
 Positive power tolerance of 0~+3%
 • Half Cell
 • Mono PERC 66 Cell

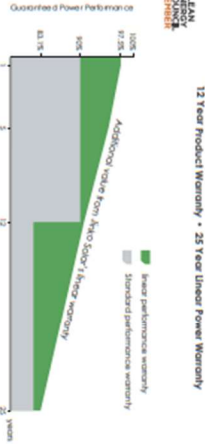
www.jinkosolar.com



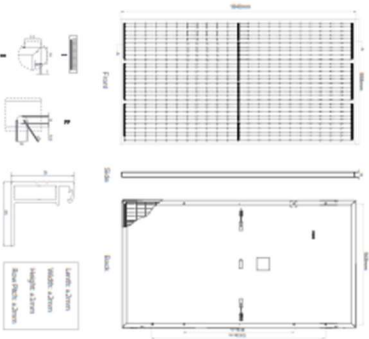
KEY FEATURES

- 5 Busbar Solar Cell**
5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Efficiency**
Higher module conversion efficiency (up to 20.65%) benefit from half cell structure (low resistance characteristics).
- PID Resistance**
Excellent anti-ting performance guarantee limited power degradation for most production.
- Low-light Performance**
Advanced glass on-die cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.
- Severe Weather Resistance**
Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal). High salt mist and ammonia resistance certified by TÜV NORD.

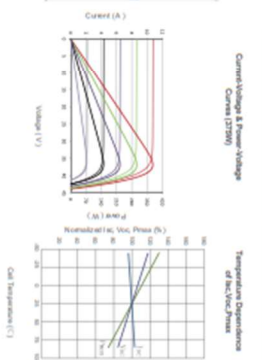
LINEAR PERFORMANCE WARRANTY



Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75 × 158.75mm
Module Size	1327 (66×2) 1650 × 990
Dimensions	1340-990-150mm (72.44 × 39.09 × 1.58 inch)
Weight	20.7 kg (45.6 lbs)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating
Frame	High Tensile Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 3-core 4mm ² (1 × 200mm, 1 × 245 mm or Customized Length)

Packaging Configuration

(Two pallets - One stack)

3100x300x2400mm 24x6x24 HD Container

SPECIFICATIONS

Model Type	JN03046H	JN03046H	JN03046H	JN03046H	JN03046H
	JN03046H-V	JN03046H-V	JN03046H-V	JN03046H-V	JN03046H-V
Maximum Power (P _{max})	360Wp	365Wp	370Wp	375Wp	380Wp
Maximum Power Voltage (V _{mp})	38.97V	39.78V	40.59V	41.40V	42.21V
Maximum Power Current (I _{mp})	9.24A	9.20A	9.16A	9.12A	9.08A
Open-circuit Voltage (V _{oc})	43.89V	44.60V	45.31V	46.02V	46.73V
Short-circuit Current (I _{sc})	10.65A	10.65A	10.65A	10.65A	10.65A
Module Efficiency STC (η)	19.69%	19.85%	19.99%	20.13%	20.27%
Operating Temperature (T _c)	-40°C~+85°C				
Maximum system voltage	1000V (500V IEC)				
Maximum series fuse rating	20A				
Power tolerance	0~+3%				
Temperature coefficient of P _{max}	-0.35%/°C				
Temperature coefficient of V _{oc}	-0.28%/°C				
Temperature coefficient of I _{sc}	0.04%/°C				
Nominal operating cell temperature (NOCT)	46°C				

• STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

• NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

• Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JN03046H-66M-A-EN

3. LG NeON 2

LG NeON[®] 2 Black



350W | 345W | 340W | 335W

The LG NeON[®] 2 is LG's best selling solar module, and is one of the most powerful and versatile modules on the market today. Featuring LG's Cello Technology, the LG NeON[®] 2 increases power output. New updates include an extended performance warranty to 90.08 % to give customers a greater sense of reliability and peace of mind.



Feature



Enhanced Performance Warranty

LG NeON[®] 2 has an enhanced performance warranty. After 25 years, LG NeON[®] 2 is guaranteed to perform at minimum 90.08% of initial performance.



Enhanced Product warranty

LG has extended the warranty of the NeON[®] 2 to 25 years, which is among the top of industry standards.



Better Performance on a Sunny Day

LG NeON[®] 2 now performs better on sunny days, thanks to its improved temperature coefficient.



Roof Aesthetics

LG NeON[®] 2 has been designed with aesthetics in mind using thinner wires that appear all black at a distance. The LG NeON[®] 2 can increase the aesthetic value of your home with a more modern design.

About LG Electronics

LG Electronics is a global big player, committed to expanding its operations with the solar market. The company first embarked on a solar energy source research program in 1985, supported by LG Group's vast experience in the semi-conductor, LCD, chemistry and materials industries. In 2010, LG Solar successfully released its first Mono[®] series to the market, which is now available in 32 countries. The NeON[®] (previous, Mono[®] NeON), NeON[®]2, NeON[®]2 Bifacial won the "Intersolar AWARD" in 2013, 2015 and 2016, which demonstrates LG Solar's lead, innovation and commitment to the industry.



LG NeON[®] 2 Black

LG350N1K-V5 | LG345N1K-V5 | LG340N1K-V5 | LG335N1K-V5

General Data

Cell Properties (Material / Type)	Monocrystalline / N-type
Cell Maker	LG
Cell Configuration	60 Cells (6 x 10)
Number of Buses	12EA
Module Dimensions (L x W x H)	1,686 mm x 1,016 mm x 40 mm
Weight	17.1 kg
Glass (Material)	Tempered Glass with AR Coating
Backsheet (Color)	Black
Frame (Material)	Anodized Aluminium
Junction Box (Protection Degree)	IP 68 with 3 Bypass Diodes
Cables (Length)	1,000 mm x 2EA
Connector (Type / Maker)	MC 4 / MC

Certifications and Warranty

Certifications	IEC 61215-1/-1-1/2:2016, IEC 61730-1/2:2016, UL 1703
	ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001
	QHSAS 18001
	IEC 61701 : 2012 Severity 6
Salt Mist Corrosion Test	IEC 61701 : 2012 Severity 6
Ammonia Corrosion Test	IEC 62716 : 2013
Module Fire Performance	Type 2 (UL 1703)
Fire Rating	Class C (UL 790, ULCD/ORD C 1703)
Solar Module Product Warranty	25 Years
Solar Module Output Warranty	Linear Warranty*

* First year : 96% 2) After 1st year : 0.33% annual degradation 3) 90.08% for 25 years

Temperature Characteristics

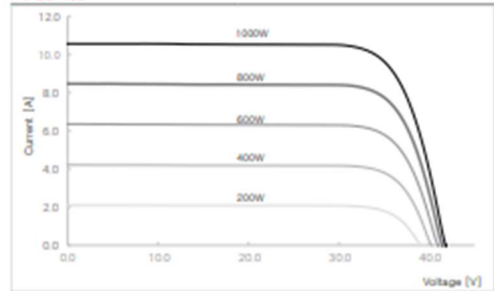
NMOT [†]	[°C]	42 ± 3
P _{max}	[%/°C]	-0.36
V _{oc}	[%/°C]	-0.26
I _{sc}	[%/°C]	0.03

* NMOT (Nominal Module Operating Temperature) Irradiance 800 W/m², Ambient temperature 20 °C, Wind speed 1 m/s, Spectrum AM 1.5

Electrical Properties (NMOT)

Model	LG350N1K-V5	LG345N1K-V5	LG340N1K-V5	LG335N1K-V5	
Maximum Power (P _{max})	[W]	263	259	255	251
MPP Voltage (V _{mpp})	[V]	33.5	33.2	32.8	32.4
MPP Current (I _{mpp})	[A]	7.83	7.80	7.78	7.76
Open Circuit Voltage (V _{oc})	[V]	39.0	38.9	38.8	38.7
Short Circuit Current (I _{sc})	[A]	8.38	8.35	8.32	8.28

I-V Curves



Electrical Properties (STC*)

Model	LG350N1K-V5	LG345N1K-V5	LG340N1K-V5	LG335N1K-V5	
Maximum Power (P _{max})	[W]	350	345	340	335
MPP Voltage (V _{mpp})	[V]	35.7	35.3	34.9	34.5
MPP Current (I _{mpp})	[A]	9.81	9.78	9.75	9.72
Open Circuit Voltage (V _{oc} , ± 5%)	[V]	41.4	41.3	41.2	41.1
Short Circuit Current (I _{sc} , ± 5%)	[A]	10.43	10.39	10.35	10.31
Module Efficiency	[%]	20.4	20.1	19.8	19.6
Power Tolerance	[%]	0 ~ +3			

* STC (Standard Test Condition) Irradiance 1000 W/m², Cell temperature 25 °C, AM 1.5

** Measurement Tolerance : ± 3%

Operating Conditions

Operating Temperature	[°C]	-40 ~ +90
Maximum System Voltage	[V]	1,000
Maximum Series Fuse Rating	[A]	20
Mechanical Test Load (Front)	[Pa / psf]	5,400 / 113
Mechanical Test Load (Rear)	[Pa / psf]	4,000 / 83.5

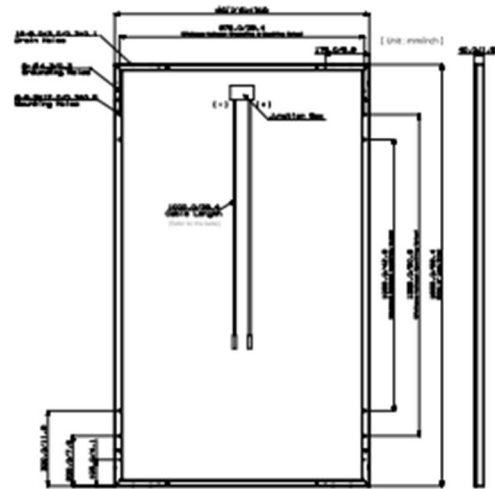
† Mechanical Test Load 5,400Pa / 4,000Ps based on IEC 61215-2 : 2016

(Test Load = Design Load x Safety Factor(1.5))

Packaging Configuration

Number of Modules per Pallet	[EA]	25
Number of Modules per 40ft HQ Container	[EA]	650
Packaging Box Dimensions (L x W x H)	[mm]	1,750 x 1,120 x 1,221
Packaging Box Gross Weight	[kg]	466

Dimensions (mm / inch)



LG Electronics Inc.
Solar Business Division
LG Twin Towers, 128 Yeouid-daero, Yeongdeungpo-gu, Seoul
07336, Korea
www.lg-solar.com

Product specifications are subject to change without notice.
DS-V5-60-K-G-F-EN-00806

© 2019 LG Electronics. All rights reserved.



4. REC ALPHA PURE



SOLAR'S MOST TRUSTED 

REC ALPHA PURE-R SERIES

PRODUCT SPECIFICATIONS

COMPACT PANEL SIZE

9 A MODULE CURRENT
COMPATIBLE WITH MLPE

430 WP
20.7 $\frac{W}{FT^2}$
22.3% EFFICIENCY


ELIGIBLE


LEAD-FREE
ROHS COMPLIANT

EXPERIENCE

PERFORMANCE

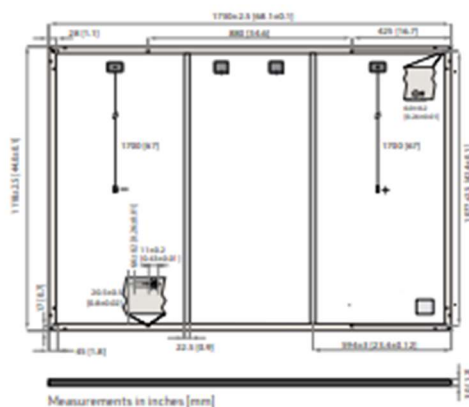
REC ALPHA PURE-R SERIES

PRODUCT SPECIFICATIONS



GENERAL DATA

Cell type:	80 half-cut REC bifacial, heterojunction cells with lead-free, gapless technology
Glass:	0.13in(3.2mm) solar glass with anti-reflective surface treatment in accordance with EN 12150
Backsheet:	Highly resistant polymer (black)
Frame:	Anodized aluminum (black)
Junction box:	4-part, 4 bypass diodes, lead-free IP68 rated, in accordance with IEC 62790
Connectors:	Stäubli MC4 PV-KBT4/KST4 (12 AWG) in accordance with IEC 62852, IP68 only when connected
Cable:	12 AWG (4mm ²) PV wire, 67 + 67 in (1.7 + 1.7 m) in accordance with EN 50618
Dimensions:	68.1 x 44.0 x 1.2 in (20.77 ft) / 1730 x 1118 x 30 mm (1.93 m ³)
Weight:	47.4 lbs (21.5 kg)
Origin:	Made in Singapore



ELECTRICAL DATA

Product Code*: RECxxxAA PURE-R

STC
NMOT

	400	410	420	430
Power Output - P _{max} (Wp)	400	410	420	430
Watt Class Sorting - (W)	0/+10	0/+10	0/+10	0/+10
Nominal Power Voltage - V _{mpv} (V)	48.8	49.4	50.0	50.5
Nominal Power Current - I _{mpv} (A)	8.20	8.30	8.40	8.52
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	58.9	59.2	59.4	59.7
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	8.80	8.84	8.88	8.91
Power Density (W/ft ²)	19.26	19.74	20.22	20.70
Panel Efficiency (%)	20.7	21.2	21.8	22.3
Power Output - P _{max} (Wp)	305	312	320	327
Nominal Power Voltage - V _{mpv} (V)	46.0	46.6	47.1	47.6
Nominal Power Current - I _{mpv} (A)	6.64	6.70	6.80	6.88
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	55.5	55.8	56.0	56.3
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	7.11	7.16	7.20	7.24

Values at standard test conditions (STC: air mass AM1.5, irradiance 1075 W/m² (1000 W/m²), temperature 77°F (25°C) based on a production spread with a tolerance of P_{max}, V_{oc}, & I_{sc} ±3% within one watt class. Nominal module operating temperature (NMOT: air mass AM1.5, irradiance 800 W/m², temperature 68°F (20°C), wind speed 3.3 ft/s (1 m/s). *Where xxx indicates the nominal power class (P_{max}) at STC above.

MAXIMUM RATINGS

Operational temperature:	-40 ... +85°C
System voltage:	1000 V
Test load (front):	+7000 Pa (146 lbs/ft ²)
Test load (rear):	-4000 Pa (83.5 lbs/ft ²)
Series fuse rating:	25 A
Reverse current:	25 A

*See installation manual for mounting instructions. Design load = Test load / 1.5 (safety factor)

WARRANTY

	Standard	REC ProTrust
Installed by an REC Certified Solar Professional	No	Yes
System Size	All	<25 kW 25-500 kW
Product Warranty (yrs)	20	25
Power Warranty (yrs)	25	25
Labor Warranty (yrs)	0	25
Power in Year 1	98%	98%
Annual Degradation	0.25%	0.25%
Power in Year 25	92%	92%

See warranty documents for details. Conditions apply

Available from:

Founded in 1996, REC Group is an international pioneering solar energy company dedicated to empowering consumers with clean, affordable solar power. As Solar's Most Trusted, REC is committed to high quality, innovation, and a low carbon footprint in the solar materials and solar panels it manufactures. Headquartered in Norway with operational headquarters in Singapore, REC also has regional hubs in North America, Europe, and Asia-Pacific.

CERTIFICATIONS

IEC 61215:2016, IEC 61730:2016, UL 61730
IEC 62804 PID
IEC 61701 Salt Mist
IEC 62716 Ammonia Resistance
UL 61730 Fire Type 2
IEC 62782 Dynamic Mechanical Load
IEC 61215-2:2016 Hailstone (35mm)
IEC 62321 Lead-free acc. to RoHS EU 863/2015
ISO 14001, ISO 9001, IEC 45001, IEC 62941



Declare.

TEMPERATURE RATINGS*

Nominal Module Operating Temperature:	44°C (±2°C)
Temperature coefficient of P _{max} :	-0.24 %/°C
Temperature coefficient of V _{oc} :	-0.24 %/°C
Temperature coefficient of I _{sc} :	0.04 %/°C

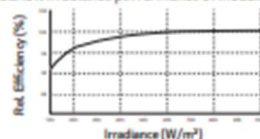
*The temperature coefficients stated are linear values

DELIVERY INFORMATION

Panels per pallet:	33
Panels per 40 ft GP/high cube container:	858 (26 pallets)
Panels per 53 ft truck:	858 (26 pallets)

LOW LIGHT BEHAVIOUR

Typical low irradiance performance of module at STC:



REC Solar PTE. LTD.
20 Tuas South Ave.14
Singapore 637312
post@recgroup.com
www.recgroup.com



Ref: PO-05-AARR Rev:321023 Specifications subject to change without notice.

5. SunPower Maxeon 3



PERFORMANCE 5 | 545 W

Power Plant Bifacial Solar Panel

SunPower Performance 5 UPP panels are engineered to meet the unique needs of large-scale solar power plants. Performance panels wrap conventional front contact cells with 35 years of SunPower materials, engineering and manufacturing expertise to enhance panel strength and durability. The weakest points of Conventional Panel design are eliminated to deliver superior power, reliability and value.¹



More Energy

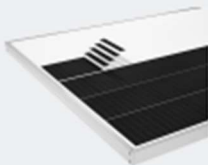
By exposing more active surface area across more mono PERC cells, Performance 5 UPP Bifacial panels optimize power density, while lowering system costs. The result is a high power panel uniquely suited for the needs of power plant developers, maximizing energy production within available space.



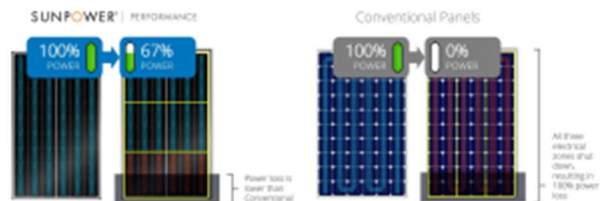
Trusted Durability

SunPower Performance panels are engineered to withstand a host of environmental challenges, such as daily temperature swings, high humidity and shading. In the case of shading, the unique parallel circuitry of Performance panels maximizes energy production during morning and evening row-to-row shading, or when panels become soiled.

Making the conventional, exceptional



- Redundant cell connections create flexible paths for continuous electricity flow.
- Aerospace-grade conductive adhesive delivers superior durability.
- A proprietary encapsulant minimizes cell degradation from environmental exposure.
- Smaller cells extend panel life, optimizing current to keep cells cooler when shaded.²



Proven Reliability

An innovative shingled cell design mitigates the leading reliability challenges associated with conventional front contact panels by designing out fragile ribbons and solder bonds on the cells. SunPower stands behind each Performance panel with a comprehensive power and product warranty. With proven results in real-world conditions, SunPower Performance Panels have become the most deployed shingled solar panel in the world.²

PERFORMANCE 5 | 545 W Power Plant Bifacial Solar Panel

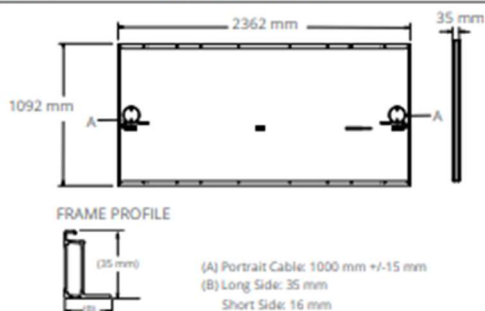
Electrical Data, Front STC characteristics ⁴						
Model	SPR-PS-545-LPP	SPR-PS-540-LPP	SPR-PS-535-LPP	SPR-PS-530-LPP	SPR-PS-525-LPP	SPR-PS-520-LPP
Nominal Power (P _{nom}) ²	545 W	540 W	535 W	530 W	525 W	520 W
Power Tolerance	+3/0%	+3/0%	+3/0%	+3/0%	+3/0%	+3/0%
Efficiency	21.1%	20.9%	20.7%	20.5%	20.4%	20.2%
Rated Voltage (V _{mpp})	46.1 V	45.8 V	45.5 V	45.2 V	44.9 V	44.6 V
Rated Current (I _{mp})	11.84 A	11.80 A	11.77 A	11.74 A	11.71 A	11.68 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	55.8 V	55.4 V	55.1 V	54.8 V	54.6 V	54.4 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	12.62 A	12.59 A	12.57 A	12.54 A	12.52 A	12.43 A
Maximum System Voltage	1500 V IEC					
Maximum Series Fuse	25 A					
Power Temp. Coef.	-0.34% / °C					
Voltage Temp. Coef.	-0.28% / °C					
Current Temp. Coef.	0.06% / °C					

Bifacial characteristics						
Bifaciality (ΔP _{max})	≥65%					
	563 W	558 W	552 W	547 W	542 W	537 W
I _{sc} BIF05	13.03 A	13.00 A	12.98 A	12.95 A	12.93 A	12.83 A
P _{max} BIF10	580 W	575 W	570 W	564 W	559 W	554 W
I _{sc} BIF10	13.44 A	13.41 A	13.39 A	13.36 A	13.33 A	13.24 A
P _{max} BIF20	616 W	610 W	605 W	599 W	593 W	588 W
I _{sc} BIF20	14.26 A	14.23 A	14.20 A	14.17 A	14.15 A	14.05 A

Tests And Certifications (Pending)	
Standard Tests ⁵	IEC 61215, IEC 61730 Rated to 1500 V
Quality Certs	ISO 9001:2008, ISO 14001:2004
EHS Compliance	OHSAS 18001:2007, Recycling Scheme
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	MIL-STD-810G
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
LeTID Test ⁶	IEC 61215 (MQT 23.1 LeTID detection) draft standard
PID Test	Potential-Induced Degradation free: 1500 V
Available Listings	TUV

Warranties	
12-year Product Workmanship Warranty	
30-year Power Warranty	
(Please refer to product warranty for details)	

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	Monocrystalline PERC
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-68, MC4 Compatible, 3 bypass diodes
Weight	31.5 kg
Max. Load	Wind: 2400 Pa, 245 kg/m ² front & back Snow: 5400 Pa, 550 kg/m ² front
Frame	Class 2 silver anodized



Read safety and installation instructions before using this product.

SUNPOWER®
PERFORMANCE

536098 REV A / A4_EN
Publication Date: July 2020

1 Independent Shade Study by CPV Laboratory.
2 Based on shipments as of Q2-2020.
3 SunPower Performance Series - Thermal Performance, Z.Campeau 2016.
4 Measured at Standard Test Conditions (STC): irradiance of 1000 W/m², AM 1.5, and cell temperature 25° C.
5 Class C fire rating per IEC 61730.
6 Fraunhofer CSP LID Sensitivity according to IEC 61215 (MQT 23.1 LeTID detection), <1% power loss.

Designed in USA, assembled in China.

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

©2020 Maveon Solar Technologies, Ltd. All rights reserved. View warranty, patent and trademark information at maveon.com/legal.

sunpower.com

6. Bombilla MPE

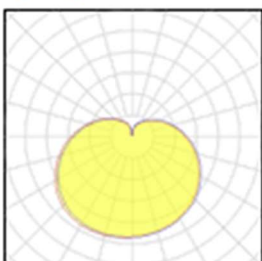
Product data sheet

LED BULB LBD 15W 6500K
LBD-15T
MPE



- Bulb Led - Size: Ø67 x 143 mm - Weight: 61g - Base type: E27. - Outer body is PA plastic, inside is aluminum, PC plastic cover - Voltage: 220VAC - Power: 15W - Power Factor (PF): >0.5 - Luminance: 1500 lm - Color Temperature (CCT): 6000-6500K - RA >80 High Color Rendering Index - Beam angle: 230° - Chip LED: SMD 2835 - Life Time: 30,000 hours - Instant Light: 0s - European Standard CE - RoHS

Light output 1



1 x LED

Nominal lamp power	15 W	LOR	100%
Lamp flux	1756 lm	ULOR	28%
Luminous efficacy	117 lm/W	Total flux	1756 lm
CCT	7167 K	Total power	15 W
CRI	83		

Mounting mode

Ceiling mounted, Pendant

Shape and measurements

Length: 67 mm
Width: 67 mm
Height: 118 mm
Weight: 0.5 kg

Adjustability

Fixed

Electric

System power: 15 W

Protection

IP: 20
Designation labels: CE

7. Huawei SUN2000-100KTL-H!



Inversor inteligente de string

SUN2000-100KTL-H1



Inteligente

- Monitoramento inteligente de 12 strings e resolução rápida de problemas
- Compatível com Power Line Communication (PLC)
- Compatível com diagnóstico de curva I-V inteligente

Eficiente

- Eficiência máxima de 99,0%
- Eficiência europeia de 98,8%
- 6 MPPT por unidade, reduzindo efetivamente a incompatibilidade de strings

Seguro

- Interruptor CC integrado, segura e conveniente para manutenção
- Unidade de monitoramento de corrente residual (RCMU) integrada
- Design sem fusível

Confiável

- Tecnologia de resfriamento natural
- Grau de proteção IP65
- Dispositivo protetor contra surto (DPS) classe II para CC e CA

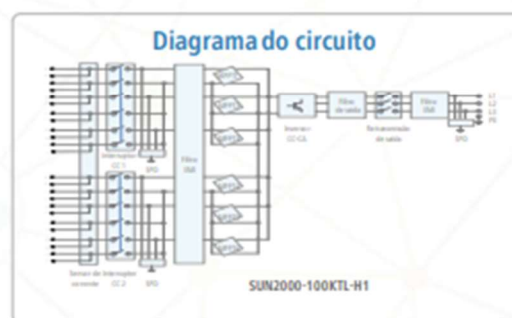
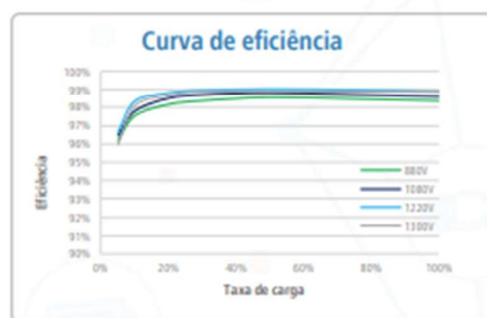
Sempre disponível para rendimentos mais altos

solar.huawei.com/la

Inversor inteligente de string (SUN2000-100KTL-H1)



Especificações Técnicas	SUN2000-100KTL-H1
	Eficiência
Eficiência máxima	99,0%
Eficiência europeia	98,8%
	Entrada
Tensão máxima de entrada	1.500 V
Corrente máx. por MPPT	22 A
Corrente de curto-circuito máx. por MPPT	33 A
Tensão de início	650 V
Faixa de tensão operacional do MPPT	600 V ~ 1.500 V
Tensão nominal de entrada	1.080 V
Número de entradas	12
Número de MPP Trackers	6
	Saída
Energia ativa CA nominal	100.000 W @ 40°C
Energia CA aparente máxima	105.000 VA @ 35°C
Potência ativa CA máxima (cosφ=1)	105.000 W @ 35°C
Tensão nominal de saída	800 V CA, 3 W + PE
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente nominal de saída	72,2 A
Corrente de saída máxima	80,2 A
Faixa de ajuste do Fator de potência	0,8 LG ... 0,8 LD
Distorção harmónica total máxima	< 3%
	Proteção
Dispositivo de desconexão lateral de entrada	Sim
Proteção anti-filamento	Sim
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim
Proteção de polaridade CC reversa	Sim
Monitoramento de falha de string de matriz PV	Sim
DPS CC	Classe II
DPS CA	Classe II
Deteção de resistência de isolamento CC	Sim
Unidade de monitoramento de corrente residual	Sim
	Comunicação
Visor	Indicadores de LED, Bluetooth + APP
RS485	Sim
USB	Sim
Power Line Communication (PLC)	Sim
	Geral
Dimensões (L x A x P)	1.075 x 605 x 310 mm (42,3 x 23,8 x 12,2 polegadas)
Peso (com placa de montagem)	77 kg (169,8 lb)
Intervalo de temperatura operacional	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Método de resfriamento	Convecção natural
Altitude máx. de operação	4.000 m (13.123 pés)
Umidade relativa	0 ~ 100%
Conector CC	Amphenol UTX
Conector CA	Terminal PG + Conector OT à prova d'água
Grau de proteção	IP65
Topologia	Sem transformador
	Conformidade com padrões (Mais disponível à pedido)
Certificado	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Código de rede	IEC 61727, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, ABNT NBR IEC 62116, RD 1699, RD 661, RD 413, UNE 206007-1 IN, UNE 206006 IN, P.O. 12.3



O texto e as figuras exibidas no presente documento estão sujeitos a alterações técnicas. Exclua-se de erros e omissões. A Huawei não assume nenhuma responsabilidade por erros ou omissões. Para mais informações, contacte solar.huawei.com. Versão: 01 (20 887)

Sempre disponível para rendimentos mais altos

solar.huawei.com/la

8. SMA Sunny Tripower CORE 1

SUNNY TRIPOWER CORE1
STP 50-40



STP 50-40

inter solar award
2017
WINNER

World's first free standing inverter

Up to 60 % faster installation for commercial PV systems

SMA ShadeFix
STRING LEVEL OPTIMIZATION

Cost-Effective	Highly Integrated	Fastest Installation	Maximum Yields
<ul style="list-style-type: none">• Floor-mounted device easy to install• No DC fuses required• Integrated DC disconnect	<ul style="list-style-type: none">• Integrated Wi-Fi access with any mobile device• 12 direct string inputs reduce labor and material costs• AC/DC overvoltage protection (optional)	<ul style="list-style-type: none">• Fast grid connection due to easy inverter configuration and commissioning• Completely accessible connection areas	<ul style="list-style-type: none">• Up to 150% DC:AC ratio• Yield increase without installation effort due to integrated shade management SMA ShadeFix

SUNNY TRIPOWER CORE1

Stands on its own

The Sunny Tripower CORE1 is the world's first free-standing string inverter for decentralized rooftop and ground-based PV systems as well as covered parking spaces. The CORE1 is the third generation in the successful Sunny Tripower product family and is revolutionizing the world of commercial inverters with its innovative design. SMA engineers developed an inverter that combines a unique design with an innovative installation method to significantly reduce installation time and provide all target groups with a maximum return on investment.

From delivery and installation to operation, the Sunny Tripower CORE1 generates widespread savings in logistics, labor, materials and services. Commercial PV installations are now quicker and easier to complete than ever before.

9. Fronius ECO 100-3-S


/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

FRONIUS


FRONIUS TAURO

Precombined variant.


PRELIMINARY DATA




System design flexibility




Max. performance up to 50°C




Direct sunlight




Optimising costs



Active Double Wall Cooling



Power stage replacement



The three-phase Fronius Tauro in the 50 and 100 kW power classes promises maximum performance for central systems even under the harshest conditions.

With its smart hardware design, it offers not just BOS cost optimization but unprecedented flexibility in system design. Simple installation and the fastest service on the market ensure maximum yield.

TECHNICAL DATA FRONIUS TAURO

INPUT DATA	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
Number of MPPT trackers	3	3	3
Max. input current ($I_{dc,max}$)	134 A	87.5 A	175 A
Max. array short circuit current (PV1 / PV2 / PV3)	36 / 36 / 72 A	75 / 75 / - A	100 / 100 / - A
DC input voltage range ($U_{dc,min} - U_{dc,max}$)	200 - 1000 V		580 - 1000 V
Feed-in start voltage ($U_{dc,start}$)	200 V		650 V
Usable MPPT voltage range ($U_{mppt,min} - U_{mppt,max}$)	400 - 870 V		580 - 930 V
Number of DC connections (PV1 / PV2 / PV3)	1 / 1 / 1	1 / 1 / -	1 / 1 / -
Max. PV generator power ($P_{dc,max}$)		75 kW _{peak}	150 kW _{peak}

OUTPUT DATA	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
AC nominal output ($P_{ac,n}$)	50,000 W		100,000 W
Max. output power	50,000 VA		100,000 VA
AC output current ($I_{ac,max}$)	76 A		152 A
Grid connection ($U_{ac,n}$)		3-NPE 400/230 V; 3-NPE 380/220 V	
Frequency (frequency range $f_{min} - f_{max}$)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Power factor (cos ϕ_{ac})		0 - 1 ind. / cap.	

GENERAL DATA	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
Dimensions (height x width x depth)		755 x 1100 x 346 mm (without wall mount)	
Weight	92 kg	74 kg	103 kg
Degree of protection		IP 65	
Protection class		1	
Night-time consumption		< 16 W	
Cooling		Active cooling technology and double wall system	
Installation		Indoor and outdoor ¹	
Ambient temperature range		-40 to + 65 °C ²	
Certificates and compliance with standards ³	AS/NZS 4777.2:2020, IEC62109-1:2, VDE-AR-N 4105:2018, IEC62116, EN50549-1:2019 & EN50549-2:2019, VDE-AR-N 4110:2018, CEI 0-16:2019, CEI 0-21:2019		

¹ Direct under the sun is possible

² Optional AC disconnect mounted inside the inverter: from - 25 to + 65 °C

³ These are planned certificates. For the current certificates, please see www.fronius.com/tauro-cert

TECHNICAL DATA FRONIUS TAURO

AC CONNECTION TECHNOLOGY	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
Cable diameter	35 - 240 mm ²		70 - 240 mm ²
AC conductor material		Al and Cu	
Connection terminals		Cable lug or V clamps	
Single core option (single core cable)		Cable gland: 5 x M40	
Multi core option (multi core cable)		Cable gland: 1 x multi core connection Ø 16 - 61.4 mm + 1 x M32	
AC Daisy Chaining option (single core cable)		Cable gland: 10 x M32	

DC CONNECTION TECHNOLOGY	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
Cable diameter		25 - 95 mm ²	
DC conductor material		Al and Cu	
Connection terminals		Cable lug or V clamps	
		Cable gland: 6 x M40	

EFFICIENCY	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
Max. efficiency	98.6 %		98.5 %
European efficiency (η _{EU})	98.1 %		98.2 %
MPP adaptation efficiency		> 99.9 %	

PROTECTION DEVICES	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
DC disconnect		integrated	
Overload behaviour		Operating point shift, power limitation	
Reverse polarity protection		integrated	
RCMU		integrated	
DC insulation measurement		integrated	
DC/AC surge protection		Type 1 + 2 integrated, Type 2 optional	

INTERFACES	FRONIUS TAURO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 50-3-P	FRONIUS TAURO ECO 100-3-P
Wi-Fi		Fronius Solarweb, Modbus TCP/SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
2x Ethernet LAN RJ45		10/100Mbit, max. 100m Fronius Solarweb, Modbus TCP/SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
USB (Type A socket)		1A @5V max. ¹	
Wired Shutdown (WSD)		Emergency stop	
2x RS485		Modbus RTU SunSpec meter/battery connection	
6 digital inputs / 6 digital I/Os		Programmable interface for ripple control receives, energy management, load control	
Datalogger and Webserver		integrated	

¹ for power supply only

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

THREE BUSINESS UNITS, ONE GOAL: TO SET THE STANDARD THROUGH TECHNOLOGICAL ADVANCEMENT.

What began in 1945 as a one-man operation now sets technological standards in the fields of welding technology, photovoltaics and battery charging. Today, the company has around 5,440 employees worldwide and 1,264 patents for product development show the innovative spirit within the company. Sustainable development means for us to implement environmentally relevant and social aspects equally with economic factors. Our goal has remained constant throughout: to be the innovation leader.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

Fronius India Private Limited
Plot no BG-71/2/B,
Pimpri Industrial Area,
MIDC- Bhosari,
Pune- 411026, India
pv-sales-india@fronius.com
www.fronius.in

Fronius Australia Pty Ltd.
90-92 Lambeck Drive
Tullamarine VIC 3043
Australia
pv-sales-australia@fronius.com
www.fronius.com.au

Fronius UK Limited
Maidstone Road, Kingston
Milton Keynes, MK10 0BD
United Kingdom
pv-sales-uk@fronius.com
www.fronius.co.uk

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Text and images correspond to the current state of technology at the time of printing. Subject to modifications.
All information is for those purposes in spite of careful editing. liability excluded. Copyright © 2011 Fronius AG. All rights reserved.

885-011 Rev. 2020 4/17

10. Sungrow SG110CX

SG110CX New

SUNGROW
Clean power for all

Multi-MPPT String Inverter for 1000 Vdc System



HIGH YIELD

- 9 MPPTs with max. efficiency 98.7%
- Compatible with bifacial module
- Built-in PID recovery function

LOW COST

- Compatible with Al and Cu AC cables
- DC 2 in 1 connection enabled
- Q at night function

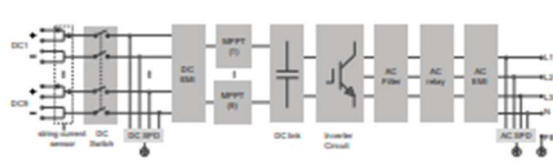
SMART O&M

- Touch free commissioning and remote firmware upgrade
- Online IV curve scan and diagnosis*
- Fuse free design with smart string current monitoring

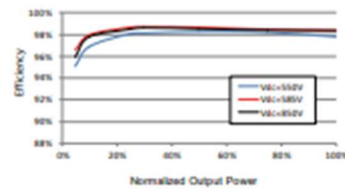
PROVEN SAFETY

- IP66 and C5 protection
- Type II SPD for both DC and AC
- Compliant with global safety and grid code

CIRCUIT DIAGRAM



EFFICIENCY CURVE



© 2019 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. Version 1.4

Type designation	SG110CX
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1100 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	200 V / 250 V
Nominal PV input voltage	585 V
MPP voltage range	200 – 1000 V
MPP voltage range for nominal power	550V – 850 V
No. of independent MPP inputs	9
Max. number of PV strings per MPPT	2
Max. PV input current	26 A * 9
Max. DC short-circuit current	40 A * 9
Output (AC)	
AC output power	110 kVA @ 45 °C / 100 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	158.8 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 400 V
AC voltage range	320 – 460 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % I _n
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency	98.7 %
Euro. efficiency	98.5 %
Protection	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Ground fault monitoring	Yes
DC switch	Yes (not available for Australia)
AC switch	No
PV String current monitoring	Yes
PID recovery function	Yes
Overvoltage protection	DC Type II / AC Type III
General Data	
Dimensions (W*H*D)	1051*660*362.5 mm
Weight	89 kg
Isolation method	Transformerless
Ingress protection rating	IP66
Night power consumption	< 2W
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C (> 50 °C derating)
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+APP
Communication	RS485 / Optional: Wi-Fi, Ethernet
DC connection type	MC4 (Max. 6 mm ²)
AC connection type	OT / DT terminal (Max. 240 mm ²)
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, IEC 61000-6-3, EN 50549, AS/NZS 4777.2:2015, CEI 0-21, VDE 0126-1-1/A1 VFR 2014, UTE C15-712-1:2013, DEWA
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

*: Only compatible with Sungrow logger and iSolarCloud

11. Solar Edge SE100K

Three Phase Inverter with Synergy Technology For Europe

SE50K / SE66.6K / SE90K / SE100K / SE120K



**12-20
YEAR
WARRANTY**

INVERTERS

Powered by unique pre-commissioning process for rapid system installation

- Pre-commissioning feature for automated system validation and wiring during site installation and prior to grid connection
- Easy 2-person installation with lightweight, modular design (each inverter consists of two or three Synergy Units and one Synergy Manager)
- Independent operation of each Synergy Unit enables higher uptime and easy serviceability
- Built-in thermal sensors detect faulty wiring, ensuring enhanced protection and safety
- Designed to automatically reduce high DC voltage to touch-safe levels upon grid/inverter shutdown, with SafeDC™ and optional rapid shutdown
- Built-in arc fault protection
- Built-in PID mitigation for maximized system performance
- Monitored* and field-replaceable surge protection devices to better withstand surges caused by lightning or other events
- Streamlined cabling and lower BoS costs with single DC connection option
- Optional integrated DC safety switch eliminates the need for external DC isolators
- Built-in module-level monitoring with Ethernet or cellular communication for full system visibility

*Applicable only for DC and AC SPDs

solaredge.com

solaredge

/ Three Phase Inverter with Synergy Technology For Europe

SE50K / SE66.6K / SE90K / SE100K / SE120K

Applicable to inverter with part number	SExxxK-xxx01xxxx				SExxxK- xxx8xxxx	Units
	SE50K ⁽¹⁾ For 400V Grid	SE66.6K For 400V Grid	SE90K For 400V Grid	SE100K For 400V Grid	SE120K For 480V Grid	
OUTPUT						
Rated AC Active Output Power	50,000 ⁽²⁾	66,600 ⁽³⁾	90,000	100,000 ⁽⁴⁾	120,000 ⁽⁵⁾	W
Maximum AC Apparent Output Power	50,000 ⁽²⁾	66,600	90,000	100,000	120,000	VA
AC Output Voltage – Line to Line / Line to Neutral (Nominal)	380 / 220, 400 / 230				480 / 277	Vac
AC Output Voltage – Line to Line Range / Line to Neutral Range	304 – 437 / 176 – 253; 320 – 460 / 184 – 264.5				432 – 529 / 249 – 305	Vac
AC Frequency	50/60 ± 5%					Hz
Maximum Continuous Output Current (per Phase)	72.5	96.5	130.5 ⁽⁶⁾	145		Aac
AC Output Line Connections	3W + PE, 4W + PE					
Supported Grids	WYE, TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT, Delta, IT					
Maximum Residual Current Injection ⁽⁷⁾	200			300		mA
Utility Monitoring, Islanding Protection, Configurable Power Factor, Country Configurable Thresholds	Yes					
Total Harmonic Distortion	≤ 3					%
Power Factor Range	± 0.2 to 1					
INPUT						
Maximum DC Power (Module STC) Inverter / Synergy Unit	87,500 / 43,750	116,550 / 58,275	157,500 / 52,500	175,000 / 58,300	210,000 / 70,000	W
Transformer-less, Ungrounded	Yes					
Maximum Input Voltage DC + to DC-	1000					Vdc
Operating Voltage Range	680 – 1000					Vdc
Maximum Input Current	2 x 36.25	2 x 48.25	3 x 43.5	3 x 48.25	3 x 48.25	Adc
Reverse-Polarity Protection	Yes					
Ground-Fault Isolation Detection	167 kΩ sensitivity per Synergy Unit ⁽⁸⁾					
Maximum Inverter Efficiency	98.3				98.1	%
European Weighted Efficiency	98					%
Nighttime Power Consumption	< 8		< 12			W
ADDITIONAL FEATURES						
Supported Communication Interfaces ⁽⁹⁾	2 x RS485, Ethernet, Wi-Fi (optional), Cellular (optional)					
Smart Energy Management	Export limitation					
Inverter Commissioning	With the SetApp mobile application using built-in Wi-Fi access point for local connection					
Arc Fault Protection	Built-in, user configurable (according to UL 1699B)					
Rapid Shutdown	Optional (automatic upon AC Grid Disconnect)					
PID Rectifier	Nighttime, built-in					
RS485 Surge Protection (ports 1 + 2)	Type II, field replaceable, integrated					
DC Surge Protection	Type II, field replaceable, integrated					
AC Surge Protection	Type II, field replaceable, optional					
DC Fuses (Single Pole)	Optional, 25 A / 30 A					
DC Disconnect Switch	Optional					
Pre-Commissioning	Built-in ⁽¹⁰⁾					
STANDARD COMPLIANCE						
Safety	IEC-62109-1, IEC-62109-2, AS3100					
Grid Connection Standards ⁽¹¹⁾	EN 50549-1, EN 50549-2, VDE-AR-N 4105, VDE-AR-N 4110, VDE V 0126-1-1, CEI 0-21, CEI 0-16, TDR Erzeuger Typ A+B, G99 Type A+B, G99 (NI) Type A+B, VFR 2019					
Emissions	IEC-61000-6-2, IEC-61000-6-3 Class A, IEC-61000-3-11, IEC-61000-3-12					
RoHS	Yes					

(1) Not available in all countries. For details about the supported inverters in your country, see [Countries Supported by the SolarEdge Inverters](#).

(2) 49,990 in the UK.

(3) For sites under VDE-AR-N 4110, consider this as a 60 kW (at 90% Unom) inverter for site capacity calculations.

(4) For sites under VDE-AR-N 4110, consider this as a 90 kW (at 90% Unom) inverter for site capacity calculations.

(5) For sites under VDE-AR-N 4110, consider this as a 108 kW (at 90% Unom) inverter for site capacity calculations.

(6) For sites under VDE-AR-N 4110, the Maximum Continuous Output Current per Phase is 145 A.

(7) If an external RCD is required, its trip value must be a 200 mA for SE50K/SE66.6K, a 300 mA for SE90K, SE100K, SE120K.

(8) Where permitted by local regulations.

(9) For specifications of the optional communication options, visit the [Communications page](#) on the SolarEdge website or download the relevant product datasheet from the [Knowledge Center](#).

(10) Not available for P/Ns SExxxK-xxxx8Pxx.

(11) For all standards and certificates download, refer to the [Certificates category](#) in the Knowledge Center.

/ Three Phase Inverter with Synergy Technology For Europe

SE50K / SE66.6K / SE90K / SE100K / SE120K

Applicable to inverter with part number	SExxK-xxx0xxxx				SExxK- xxx8xxxx	Units
	SE50K For 400V Grid	SE66.6K For 400V Grid	SE90K For 400V Grid	SE100K For 400V Grid	SE120K For 480V Grid	
INSTALLATION SPECIFICATIONS						
Number of Synergy Units per Inverter	2		3			
AC Wire Cross Section and Outer Diameter: Line/PE (Aluminum or Copper)	Cross section up to 120 / 70 mm ² ; outer diameter 30-50 / 12-20 mm					
DC Input: Inverter / Synergy Unit ⁽¹⁾⁽²⁾	8 / 4 MC4 pairs		12 / 4 MC4 pairs			
	Gland, 2 pairs / 1 pair, cross section 25 – 70 mm ² , aluminum or copper Cable outer diameter 12 – 20 mm		Gland, 3 pairs / 1 pair, cross section 25 – 70 mm ² , aluminum or copper Cable outer diameter 12 – 20 mm			
Dimensions (H x W x D)	Synergy Unit: 558 x 328 x 273 Synergy Manager: 360 x 560 x 295					mm
Weight	Synergy Unit: 32 Synergy Manager: 18					kg
Operating Temperature Range	-40 to +60 ⁽³⁾					°C
Cooling	Fan (user replaceable)					
Noise	< 67					dBA
Protection Rating	IP65 – outdoor and indoor					
Mounting	Brackets provided					

(2) DC input is available with MC4 or Gland connection under the inverter part number. For more information, contact SolarEdge.

(3) Only MC4 connectors manufactured by Staabli are approved for use.

(4) For power de-rating information refer to the [Temperature Derating](#) technical note.

Accessories - SPDs (purchased separately)	
Accessory	P/N
AC SPD kit for Synergy Manager (5 units per box)	SE-AC-SPD-SM

SolarEdge is a global leader in smart energy technology. By leveraging world-class engineering capabilities and with a relentless focus on innovation, SolarEdge creates smart energy solutions that power our lives and drive future progress.

SolarEdge developed an intelligent inverter solution that changed the way power is harvested and managed in photovoltaic (PV) systems. The SolarEdge DC optimized inverter maximizes power generation while lowering the cost of energy produced by the PV system.

Continuing to advance smart energy, SolarEdge addresses a broad range of energy market segments through its PV, storage, EV charging, UPS, and grid services solutions.

-  SolarEdge
-  @SolarEdgePV
-  @SolarEdgePV
-  SolarEdgePV
-  SolarEdge
-  www.solaredge.com/corporate/contact

solaredge.com

© SolarEdge Technologies, Ltd. All rights reserved. SOLAREEDGE, the SolarEdge logo, OPTIMIZED BY SOLAREEDGE are trademarks or registered trademarks of SolarEdge Technologies, Inc. All other trademarks mentioned herein are trademarks of their respective owners. Date: January 30, 2024 DS-000008-EU Subject to change without notice.

Cautionary Note Regarding Market Data and Industry Forecasts: This brochure may contain market data and industry forecasts from certain third-party sources. This information is based on industry surveys and the preparer's expertise in the industry and there can be no assurance that any such market data is accurate or that any such industry forecasts will be achieved. Although we have not independently verified the accuracy of such market data and industry forecasts, we believe that the market data is reliable and that the industry forecasts are reasonable.

 **RoHS**

solaredge

C. Documentos legales

1. Tarifas eléctricas



RESOLUCIÓN CNEE-5-2024
Guatemala, 16 de enero de 2024
LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONSIDERANDO:

Que la Ley General de Electricidad, en el artículo 4 establece que, entre otras, es función de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, definir las tarifas de distribución sujetas a regulación; asimismo el artículo 76, de la citada Ley señala que: "...Estas tarifas deberán reflejar en forma estricta el costo económico de adquirir y distribuir la energía eléctrica."

CONSIDERANDO:

Que el Reglamento de la Ley General de Electricidad, en el artículo 87 establece: "Cada tres (3) meses se calculará la diferencia entre el precio medio de compra de potencia y energía y el precio medio correspondiente calculado inicialmente para ser trasladado a tarifas de distribución (...) la Comisión determinará la diferencia trimestral correspondiente, la que se dividirá entre la proyección de la demanda de energía del Distribuidor para los próximos tres meses, obteniendo así el valor de ajuste que será aplicado al precio de la energía del trimestre correspondiente..."

CONSIDERANDO:

Que derivado de la información regulatoria con la que cuenta esta Comisión, y de conformidad con el procedimiento y metodología establecida en el marco legal vigente, la Gerencia de Tarifas emitió el dictamen técnico de soporte, por medio del cual determinó el cálculo del ajuste trimestral que le corresponde aplicar a la **Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Pinula, Jalapa** (a quien en lo sucesivo y para efectos de la presente resolución podrá denominarsele indistintamente la Distribuidora) estableciéndose la procedencia legal de dicho cálculo, por medio del dictamen jurídico correspondiente.

POR TANTO:

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica, con base en lo considerado y con fundamento en los artículos 2, 4, 6, 61, 71 y 76 de la Ley General de Electricidad; 86, 87, 89, 92, 93 y 115 del Reglamento de la Ley General de Electricidad.

RESUELVE:

I. Aprobar para la **Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Pinula, Jalapa**, la aplicación en la facturación mensual de sus usuarios de la **Tarifa No Social** del servicio de distribución final de energía eléctrica, lo siguiente:

I.I. El Monto a recuperar resultante es de Q.11,248.98, a favor de los Usuarios; mismo que la Distribuidora deberá devolver a través de aplicar, en la facturación

del 1 de febrero al 30 de abril de 2024, el Ajuste Trimestral equivalente a -0.032598 Q/kWh, tomando como referencia una proyección de demanda de energía para los próximos tres meses de 345,086 kWh.

I.II. Los cargos tarifarios vigentes durante el período de facturación del 1 de febrero al 30 de abril de 2024 son los siguientes:

Baja Tensión Simple - BTS -	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	15.918740
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.581905
Baja Tensión Simple Autoprodutores - BTSA -	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	19.1024880
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.4866610
Baja Tensión Con Demanda en Punta - BTDP	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	305.109178
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.016367
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	56.865145
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	75.109932
Baja Tensión Con Demanda fuera de Punta - BTDFP	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	305.109178
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.016367
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	31.494283
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	46.884212
Baja Tensión Con Demanda Autoprodutores - BTDA -	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	363.802082
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.016367
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	41.345383
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	54.097325
Baja Tensión Horaria - BTH -	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	305.109178
Cargo Unitario por Energía en Punta (Q/kWh)	1.016367
Cargo Unitario por Energía Intermedia (Q/kWh)	1.016367
Cargo Unitario por Energía en Valle (Q/kWh)	1.016367
Cargo Unitario por Potencia de Punta (Q/kW-mes)	40.637997
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	57.367633
Media Tensión Con Demanda en Punta - MTDp	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	795.936985
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.915140



Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	43.183234
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	28.261555
Media Tension Con Demanda fuera de Punta - MTDfp	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	795.936985
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.915140
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	47.283145
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	22.940949
Media Tension Con Demanda Autoprodutores - MTDA -	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	916.602790
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.915140
Cargo Unitario por Potencia de Punta (Q/kW-mes)	47.917524
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	23.248738
Media Tension Horaria (MTH)	
Cargo Unitario por Consumidor (Q/usuario-mes)	795.936985
Cargo Unitario por Energía en Punta (Q/kWh)	0.915140
Cargo Unitario por Energía Intermedia (Q/kWh)	0.915140
Cargo Unitario por Energía en Valle (Q/kWh)	0.915140
Cargo Unitario por Potencia Punta (Q/kW-mes)	55.605462
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	36.116739
Tarifa Alumbrado Publico (AP)	
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.639931
Tarifa Alumbrado Privado O Publicitario Nocturno (APPN)	
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.639931
Tarifa Vigilancia, Seguridad O Comunicaciones (VSC)	
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	1.343564
Peaje En Función De Transportista Baja Tensión - (PeajeFT_BT)	
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Punta (Q/kWh)	0.136484
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía Intermedia (Q/kWh)	0.136484
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Valle (Q/kWh)	0.136484
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW)	105.965640
Peaje En Función De Transportista Media Tensión (PeajeFT_MT)	
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Punta (Q/kWh)	0.038894
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía Intermedia (Q/kWh)	0.038894
Cargo Unitario por Pérdidas de Energía en Valle (Q/kWh)	0.038894
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW)	32.034361

Nota: Para la aplicación de la resolución CNEE-227-2014, la desagregación de la tarifa BTSA de Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Pinula, Jalapa para el período del 1 de febrero al 30 de abril de 2024 es la siguiente: Cargos por generación y Transporte: 1.169589 y Cargos por Distribución 0.317072.

I.III. La tasa de interés mensual en concepto de cargo por mora de 0,948879% mensual, para el período de facturación comprendido del **1 de febrero al 30 de abril de 2024**.

II. La distribuidora no podrá aplicar en las facturas de los usuarios de la **Tarifa No Social**, ningún valor superior a los aprobados en esta resolución.

III. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica podrá, en cualquier momento, requerir información y fiscalizar la correcta aplicación de lo aquí resuelto; quedando el contenido de la presente resolución y los valores aprobados en la misma, sujetos a las modificaciones que pudieran darse como resultado de las auditorías que practique la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, con posterioridad a la notificación de la presente resolución.

IV. Si posteriormente a la fijación del ajuste trimestral, por efecto de las auditorías que practique la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, de acuerdo con el numeral anterior de esta resolución, se determinara que se incluyeron cargos a favor o en contra de la distribuidora, que debieron ser aplicados en este o en anteriores ajustes, esta diferencia deberá ser incluida como Saldo No Ajustado en posteriores ajustes trimestrales.

NOTIFÍQUESE. -


Ingeniero Luis Romeo Ortiz Peláez
Presidente


Ingeniera Claudia Marcela Peláez Pels
Directora


Licenciado Jorge Guillermo Arauz Aguilar
Director


Jorge Miguel Retolaza Alvarado
Secretario General




Jorge Miguel Retolaza Alvarado
Secretario General

Resolución CNEE-5-2024 Página 4 de 4

2. Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial 2019-2032 (Marco Legal)



CM 2101	<p>Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Jalapa, Jalapa, Ordenamiento Territorial, Dirección Municipal de Planificación. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, proyecto PROBOSQUE. Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial PDM OT Jalapa, Jalapa. Guatemala. Guatemala 2022.</p> <p>82 p. (Serie: PDM OT SEGEPLAN, CM 2101)</p> <p>1. Información General del municipio. 2. Modelo de Desarrollo Territorial Actual. Modelo de Desarrollo Territorial Futuro. 3. Directrices de Ordenamiento Territorial. 4. Planificación del Desarrollo. 5. Metas Estratégicas de Desarrollo.</p>
------------	--

Concejo Municipal de Desarrollo
Municipio de Jalapa, Guatemala, Centro América

Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia
9#. Calle 10-44 zona 1, Guatemala, Centro América
PBX 24044444
www.segeplan.gob.gt

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
Proyecto Manejo Sostenible de los Bosques y Múltiples Beneficios Ambientales Globales

Se permite la reproducción total o parcial de este documento, siempre que no se alteren los contenidos ni los créditos de autoría y edición.





Marco Legal

1. **Constitución Política de la República de Guatemala.** Las municipalidades tienen la obligación de propiciar el desarrollo social, económico, tecnológico y el ordenamiento territorial de su jurisdicción. **Artículos 97. Medio Ambiente y equilibrio ecológico y 253. Autonomía Municipal.**
2. **Código Municipal:** Establece que el gobierno local debe atender los servicios públicos, el ordenamiento territorial y sus formas, su fortalecimiento económico y la emisión de sus ordenanzas y reglamentos. **Artículos 3 Autonomía y 4 Formas de ordenamiento territorial.** Además establece la obligatoriedad de las municipalidades de formular, ejecutar y aprobar planes de ordenamiento territorial y desarrollo integral, que incluya los usos del suelo. Artículos 14. Formulación y ejecución de planes, 143. Planes de usos de suelo y 144. Aprobación de los planes.
3. **Ley de Concejos de Desarrollo:** Se establecen entre las funciones del Concejo Municipal de Desarrollo, garantizar, dar seguimiento y evaluar la ejecución de las políticas, planes y programas municipales de desarrollo. Además, establece la cooperación obligada de todas las entidades públicas para el cumplimiento de las funciones del Sistema de Consejos de Desarrollo. **Artículo 12. Funciones de los Consejos Municipales de Desarrollo y 30. Cooperación Obligada.**
4. **Ley Orgánica del Presupuesto y su Reglamento, artículo 20.** El Organismo Ejecutivo, a través de sus dependencias especializadas, practicará una evaluación anual del cumplimiento de los planes y políticas nacionales y del desarrollo general del país. **En función de los resultados de esta evaluación dictará las políticas presupuestarias y los lineamientos generales.** Sobre estas bases las entidades prepararán sus propuestas de prioridades presupuestarias en general, y de planes y programas de inversión pública, en particular, para la formulación del proyecto de presupuesto general de ingresos y egresos del Estado. Artículo 23. La Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, a más tardar el 28 de febrero de cada año, presentará el informe de evaluación de la ejecución de la política general del Gobierno. Con base en esta evaluación, el Ministerio de Finanzas Públicas, en coordinación con dicha Secretaría, **propondrá las políticas presupuestarias y los lineamientos generales** para la formulación del Proyecto de Presupuesto General de Ingresos y Egresos del Estado para el Ejercicio Fiscal que corresponda.
5. **Punto Resolutivo 08-2017 (Conadur).** Se instruye a las instituciones y a las entidades del Estado que correspondan para que, en el ámbito de su competencia, atiendan las prioridades y metas estratégicas de desarrollo aprobadas para ser incluidas en su planificación y formulación presupuestaria 2019-2032





El Municipio de Jalapa, Departamento de Jalapa, ha mantenido un desarrollo continuo en los últimos años, que se manifiesta en el incremento del área habitacional y de su parque vehicular, principalmente, tanto en el área urbana, como rural. Estas situaciones y otras, requieren de una atención integral para el logro de un desarrollo sostenible.

Nos complace presentar el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial PDM-OT 2018 - 2032, elaborado en consenso con los diferentes actores locales del Municipio: instituciones, comunidades, sociedad civil, el acompañamiento técnico de la Dirección Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Municipal, los principales actores incorporados en la denominada Mesa Técnica PDM-OT o bien la Comisión de Servicios, Infraestructura, Ordenamiento Territorial, Urbanismo y Vivienda del Municipio de Jalapa; desarrollando las metodologías definidas por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia SEGEPLAN.

El plan contiene los fundamentos básicos para el desarrollo sostenible del Municipio de Jalapa, tanto en el área urbana, como rural y define las estrategias a implementar por los tomadores de decisiones en los próximos 15 años, en el período 2018 – 2032, alineadas a los planes de desarrollo nacionales e internacionales (Política Agropecuaria 2016-2020, la Agenda Rural 2016-2020, el Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032; los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS-2016-2030 y otros). Plantea una visión de desarrollo integral y participativa, para toda la población del Municipio.

El Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial PDM-OT, es un documento que orienta el desarrollo del Municipio; define las estrategias de cómo llevar a cabo el ordenamiento territorial, no es una norma. Las áreas específicas serán priorizadas y aprobadas con base a las necesidades y disponibilidades, por las autoridades locales. Plantea la situación actual del municipio, las tendencias y cómo se visualiza el desarrollo para los próximos años.

Agradezco a SEGEPLAN, el concejo Municipal, las instituciones, las diferentes dependencias, oficinas y direcciones Municipales; Y a las personas que dieron su colaboración para la actualización, modificación y aprobación del Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial PDM-OT. Este proceso de fortalecimiento se realizó durante el año 2022, retomando los trabajos realizados en el año 2018.

Muy atentamente,


P.A. Rafael Alfredo Sandoval Cabrera
Alcalde Municipal,
Presidente del Concejo Municipal de Desarrollo.



D. Planificación

1. Cronograma de actividades

		CRONOGRAMA DE TESIS																																																															
ITEM	DESCRIPCION	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
1	Tema de tesis, justificación y objetivos	■	■	■	■																																																												
2	Hito 01																																																																
3	Ensayo y Capítulo de resumen					■	■	■	■																																																								
4	Protocolo revision 1									■	■	■	■																																																				
5	Como integrar la innovacion y sostenibilidad a mi proyecto													■	■	■	■																																																
6	Protocolo revision 1																	■	■	■	■																																												
7	Marco teorico																					■	■	■	■																																								
8	Revisión de avances																									■	■	■	■																																				
9	Metodología																													■	■	■	■																																
10	Marco teorico revision2																																	■	■	■	■																												
11	Entrega de protocolo completo																																					■	■	■	■																								
12	Análisis y percepción de aceptación																																																																
13	Conclusiones sobre encuestas y componenietes necesarios para el proyecto																																																																
14	Realizar propuestas																																																																
15	Elaboración de diseños																																																																
16	Análisis de compatibilidad																																																																
17	Experimentación de prototipo																																																																
18	Elaboración de manual de gestión de proyecto																																																																
19	Elaboración de modelo de negocio																																																																
20	Redacción																																																																
21	Correcciones																																																																

Cuadro 5. Cronograma de actividades

En el *Cuadro 5. Cronograma de actividades* se muestra el cronograma que representa los tiempos de trabajo a lo largo de la realización del trabajo profesional.