



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO E INGENIERO ELECTRÓNICO

Estudio Técnico - Económico de un Sistema Fotovoltaico Híbrido para
la Alcaldía del Municipio de Chichigalpa, Departamento de
Chinandega.

Autores:

Br. Jeffrey José Zepeda Aráuz 2015-0915U

Br. Norlyn Francisco Zepeda Aráuz 2006-23558

Tutor:

MSc. Ramiro Arcia

Septiembre 2023
Managua, Nicaragua.

Agradecimiento

Darle las gracias primeramente a nuestro Padre Celestial por permitirnos seguir adelante a pesar de la serie de obstáculos tanto personales y situaciones actuales en el país no desamparándonos nunca, permitiéndonos el logro de culminar nuestra carrera universitaria con éxitos y seguir adelante.

Gracias a nuestros padres que con mucho esfuerzo nos brindaron todo apoyo económico y emocional incitándonos a seguir adelante pudiendo cumplir cada meta propuesta siendo unos grandes ejemplares.

A nuestro tutor de monografía que siempre estuvo dispuesto a nosotros y su constancia permanente. Al final a todas las personas que siempre confiaron en que si podíamos y estuvieron presente en nuestra culminación de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Tema

Estudio Técnico - Económico de un Sistema Fotovoltaico Híbrido para la Alcaldía del Municipio de Chichigalpa, Departamento de Chinandega.

Resumen

El presente trabajo titulado “Estudio Técnico - Económico de un Sistema Fotovoltaico Híbrido para la Alcaldía del Municipio de Chichigalpa, Departamento de Chinandega”, con funcionamiento de conexión al servicio eléctrico comercial, operando de forma sincronizada y en paralelo a la red, igualmente de un sistema de respaldo de energía mediante baterías de litio de alto voltaje marca Huawei, el cual tiene como objetivo conceder confiabilidad y disponibilidad a las cargas eléctricas críticas en disposición al servicio de gestiones y atención pública en la Alcaldía de Chichigalpa.

Se describen las teorías del sol como fuente de energía, generalidades de la tecnología fotovoltaica, así como de los elementos que las componen, las características y los principios de funcionamiento.

A si mismo se describirá la metodología que se utilizará para lograr el dimensionamiento del sistema, exponiendo las condiciones y las series de datos tomados como referencia.

Seguidamente se aplicará la metodología al estudio, realizando los cálculos para el dimensionamiento del sistema, selección de dispositivos a utilizar y orientación de los módulos fotovoltaicos.

Al final del estudio se presentarán conclusiones y recomendaciones relacionadas a la aplicación de energías fotovoltaica en edificios y las nuevas tendencias actuales. De tal forma que se den a conocer los beneficios medio ambientales y económicos que conlleva la utilización de este tipo de energías.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
Capítulo I. Marco teórico	8
1.1. El sol como fuente de energía	8
1.2. Movimiento de la Tierra Respecto al Sol	8
1.3. Angulo de Salida del Sol Respecto a la Tierra.....	9
1.4. La radiación solar	10
1.4.1. Tipos de Radiación Sobre la Atmósfera	11
1.5. Efecto Fotovoltaico	13
1.6. Descripción de los sistemas fotovoltaicos.....	15
1.6.1. Generación de electricidad con energía solar fotovoltaica	15
1.6.2. Características de los sistemas Fotovoltaicos	17
1.6.3. Características de los paneles solares	17
1.6.4. Componentes principales de un sistema fotovoltaico.....	18
1.7. Sistemas Híbridos.....	21
1.7.1. Sistema Aislado.....	22
1.7.2. Sistema Conectado a Red.....	22
Capítulo II. Metodología de la implementación	23
2.1. Introducción	23
2.2. Condiciones de la Instalación Actual	25

2.2.1. Sistema de Distribución y Protección	26
2.2.2. Censo de carga	28
2.3. Costos de Facturación	29
2.4. Sistema Propuesto	30
2.4.1 Sistema Híbrido	30
Capítulo III. Metodología de Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Híbrido	32
3.1. Sistema Fotovoltaico Propuesto	33
3.2. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Híbrido.....	34
3.2.1. Selección de Módulo Fotovoltaico	34
3.2.2. Cálculo de Módulos Fotovoltaicos Necesarios	38
3.2.3. Cálculo de Ángulo de Inclinación y Ángulo de Orientación.....	39
3.2.4. Selección del inversor	39
3.2.5. Conexiones de Módulos Fotovoltaicos en Inversor	45
3.3. Selección y Dimensionamiento del Banco de Baterías.....	46
3.4. Backup Box-B0 Huawei (monofásico)	50
3.5. Factibilidad Económica	52
3.5.1. Dimensionamiento Económico de la Propuesta	52
3.5.2. Análisis Financiero.....	56
3.5.3. Análisis de la Proyección	57
3.6. Descripción Integral del Sistema	61
3.7. Impacto Ambiental	64
3.7.1. Impacto Ambiental de la Producción de Energía Solar Fotovoltaica (ESFV)	65
3.7.2. Huella de Carbono	66
Conclusiones.....	69
Recomendaciones	71

Referencias Bibliográficas.....	72
Web Grafía.....	73
Anexos	74

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Radiación sobre un plano inclinado [11].....	11
Ilustración 2 . Tipos de Radiación Solar sobre la Superficie [7].	12
Ilustración 3. Representación de los enlaces de átomos del silicio [7]	14
Ilustración 4. Célula solar fotovoltaica [6]	16
Ilustración 5. Flujo de energía en sistema interconectado [10].....	18
Ilustración 6. Ubicación Geográfica de la Alcaldía municipal de Chichigalpa y Área Disponible.....	24
Ilustración 7. Foto real de la Alcaldía municipal de Chichigalpa	25
Ilustración 8. Interruptor EATON Fi 225, 2 polos 150A.....	26
Ilustración 9. Centro de Cargas EATON 16 espacios, 2 polos 125A	27
Ilustración 10. Centro de Cargas EATON 24 espacios, 2 polos 125A.....	28
Ilustración 11. Diagrama eléctrico de un Sistema Fotovoltaico Híbrido	31
Ilustración 12. Backup Box-B0 Huawei (monofásico)	51
Ilustración 13. Flujo de Caja Sistema Híbrido PV	59
Ilustración 14. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) en un período de 10 años	59
Ilustración 15. Comportamiento del VAN y TIR	60
Ilustración 16. Diseño del plano alcaldía de Chichigalpa y orientación de puntos cardinales	61
Ilustración 17. Ubicación de módulos fotovoltaicos sobre superficie de techo alcaldía de Chichigalpa.....	62
Ilustración 18. Distribución de equipos de cuarto eléctrico alcaldía de Chichigalpa	62
Ilustración 19. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico híbrido propuesto en alcaldía de Chichigalpa.....	63

Índice de Tabla

Tabla 1. Condiciones STC y NOCT	17
Tabla 2. Datos de la ubicación de la Alcaldía y datos ambientales de la zona	25
Tabla 3. Censo de carga de los aparatos eléctricos	29
Tabla 4. Costos de facturación año 2022 Alcaldía Chichigalpa	29
Tabla 5. Demanda máxima y consumo diario de carga críticas.....	33
Tabla 6. Características eléctricas Panel DHM-72L9	34
Tabla 7. Especificaciones técnicas del módulo Bauer Energy BSP200P.	35
Tabla 8. Características técnicas del módulo Trina Solar TSM-DE17M(II).	36
Tabla 9. Cuadro comparativo de paneles solares fotovoltaico.....	37
Tabla 10. Especificaciones técnicas inversores serie Huawei KTL-L1	40
Tabla 11. Características del inversor SUN2000-6KTL-L1	41
Tabla 12. Especificaciones técnicas del inversor Híbrido Must PV33-6048 TLV ...	42
Tabla 13. Características técnicas del Inversor Híbrido Goodwe GW6000-EHR...	43
Tabla 14. Especificaciones técnicas del Inversor Híbrido Goodwe GW6000-EHR.	44
Tabla 15. Cuadro comparativo de inversores híbridos fotovoltaico.	44
Tabla 16. Conexión y cantidad de módulos por MPPT	46
Tabla 17. Potencia total del sistema	46
Tabla 18. Características y rendimiento batería LUNA2000-5kW-S0	47
Tabla 19. Especificaciones técnicas Batería BYD Battery-Box Premium HVM 13.8.	48
Tabla 20. Especificaciones técnicas de Batería LG Chem RESU10	49
Tabla 21. Especificaciones técnicas de Batería LTH L-31T/S-190M	49
Tabla 22. Precio de Venta del Sistema PV Híbrido	52
Tabla 23. Proyecciones Anuales de Facturación y Consumo PV Híbrido	57
Tabla 24. Energía Generada Anual	58
Tabla 25. Energía Generada, Consumida y Ahorro del Sistema Híbrido PV	58
Tabla 26. Flujo de Caja Sistema Híbrido PV.....	59

INTRODUCCIÓN

La tecnología de la energía fotovoltaica tiene cada vez más importancia en su implementación para la generación distribuida, puesto que además de usar una fuente primaria de energía inagotable, posee gran facilidad de instalación y requiere un mantenimiento mínimo. El tema de generación de energía solar es solo una pequeña fracción del complejo problema del consumo energético, en el cual se plantea la búsqueda de soluciones que puedan existir para corregir el consumo de energía a base de derivados del petróleo y evitar daños al medio ambiente.

Es necesario incidir en la importancia del ahorro energético y la creciente del uso de la energía renovable, por ende, se evaluará una propuesta en la Alcaldía municipal de Chichigalpa para hacer uso de un sistema fotovoltaico híbrido (funcionando como un sistema aislado y conectado a la red eléctrica comercial), con el fin de mantener las actividades constantes y reducir los costos energéticos en la Alcaldía.

La alcaldía de Chichigalpa está muy interesada en actualizar sus instalaciones eléctricas con este sistema fotovoltaico híbrido debido a que no cuenta con otro tipo de suministro eléctrico que respalde su continuidad eléctrica y de esta manera no detener sus labores al momento de fallas en la red comercial y ofrecer un mejor servicio a la población municipal. El diseño se determinará mediante un estudio técnico-económico evaluando la situación energética actual, adquiriendo indicadores para conseguir resultados óptimos y determinar la viabilidad de la implementación del sistema.

En un futuro cuando las políticas del país y la infraestructura de la red de Nicaragua alcance la actualización necesaria conocida como redes inteligentes, podrá comprar y vender energía eléctrica y así ser ejemplo para las demás organizaciones públicas como privadas más cercanas.

ANTECEDENTES

En el presente documento de investigación haremos referencia a trabajos monográficos y documentaciones que están relacionados a temas de energía renovables con mención a sistemas fotovoltaicos como medio de generación de energía eléctrica a través de energía solar captada por paneles solares.

En el año 2019 Aguilar Díaz Iván Alejandro y González Bervis Adiact Evenor presentaron en la facultad de Electrotecnia y computación de la Universidad Nacional de Ingeniería el proyecto de investigación ***Generación distribuida: diseño de un sistema fotovoltaico conectado en paralelo a la red privada en baja tensión para el suministro eléctrico de megatienda SINSA carretera Masaya***, como requisito para optar al título de ingeniero eléctrico.

Presenta un método de cálculo y dimensionado general de sistemas solares; tomando en cuenta las condiciones favorables del clima en Nicaragua; para considerar implementar estos emplazamientos en zonas cercanas a edificios o en ellos, teniendo como objetivo lograr la utilización de energías renovables a baja escala que contribuyan al cambio de la matriz energética actual del país.

En este trabajo se muestra una metodología simple de aplicar, que cubre el dimensionado de los principales elementos de un sistema conectado en paralelo a la red (Fotovoltaico), y que no solamente es funcional para edificios, sino también para viviendas, industrias, comercios, etc. Mediante la aplicación de sistemas de generación distribuida, se crean sistemas eléctricos amigables con el medio ambiente, los cuales contribuyen de manera directa con la reducción de gases de efecto invernadero, por ejemplo, con la implementación de este tipo de sistemas en el caso de estudio se obtiene una reducción de CO₂ de 48 toneladas al año. El método de cálculo presentado intenta que la tarea de calcular los componentes del sistema se logre de la manera más sencilla, para hacer más atractiva la opción de utilizar energía solar para crear edificaciones autosustentables y así contribuir con el cambio de la matriz energética del país. [1]

En esta misma labor de investigación se encontró el trabajo monográfico de investigación titulado ***Estudio técnico-económico de un sistema fotovoltaico híbrido para el Instituto Oftalmológico Munguía en el departamento de Managua*** realizada por los autores Heyling Jesebel Rivera Lumbi y Reyna de Los Ángeles Poveda Gutiérrez.

La investigación presenta el estudio técnico-económico como propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico híbrido, con topología de funcionamiento de conexión al servicio eléctrico comercial, operando de forma sincronizada y en paralelo, además de un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías de tipo ácido plomo (AGM VRLA), tiene como objetivo proporcionar disponibilidad y confiabilidad a las cargas eléctricas críticas que disponen de actividad dirigidas al servicio de la salud humana en el Instituto Oftalmológico Munguía, siendo la parte técnica de diseño que priorice lo anteriormente descrito.

Es importante resaltar que la energía solar para generación fotovoltaica actualmente está en un crecimiento exponencial por motivo de la disminución de los costos iniciales de ejecución, también Nicaragua presta condiciones de potencial fotovoltaicos altamente rentables para la explotación, en consecuencia, la factibilidad económica de un proyecto fotovoltaico posee tasa de rentabilidad altas, que incluso sería mayor si las condiciones de la ley de industria eléctrica en Nicaragua permitiera la generación distribuida remunerada. [2]

En Nicaragua se han realizados proyectos de sistemas fotovoltaicos que han ayudado a la matriz energética del país, su aplicación en nuestro país se ha conocido de diversas formas, las más usadas son:

Generación aislada

- Sistema de iluminación domiciliar.
- Sistema de iluminación exterior.
- Bombeo de agua potable, riego y piscinas.

Generación de conexión a la red

- Sistemas domiciliarios.
- Sistemas industriales.

El siguiente caso como proyecto de investigación monográfica hace referencia a los sistemas industriales de iluminación exterior con el cual se titula ***Propuesta de Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico para Iluminación en la Industria Textil SACSÁ***, realizado por los ingenieros Nelson José Nurinda Cano y Manuel Alejandro Díaz López, la propuesta de este estudio es diseñar y calcular un sistema de generación basado en el uso e implementación de paneles solares para iluminación, con el objeto de llegar a formular una propuesta y presentar soluciones, se evalúa la situación energética actual, presentando la información general sobre la capacidad de generación y la necesidad e importancia de la energía utilizada para el abastecimiento, adquiriendo indicadores para conseguir mejores resultados y determinar la viabilidad de la implementación de un sistema de energía fotovoltaica en dicha industria. [3]

Hasta el momento la Alcaldía municipal de Chichigalpa no ha implementado ningún sistema de generación de energía eléctrica en energías renovables.

El uso de energía solar ha resultado ser hasta el 80% más barata que la energía generada por térmico búnker, aunque en nuestro país hay esa ventaja solo el 2% de la demanda energética es solventada con ese tipo de energía, según las estadísticas del ministerio de energía y minas.

El gobierno de Nicaragua ha desarrollado programas de generación de energía solar a través de sistemas fotovoltaicos y micro centrales hidroeléctricas, para llevar la energía eléctrica a las comunidades más apartadas e inaccesibles del país, fuera del SIN.

Resultando con la instalación de 42 sistema fotovoltaicos, en un número igual de comunidades, que corresponden a los municipios de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) siguientes Siuna, Bonanza, Rosita, Prinzapolka, Waspam y Puerto Cabezas, a través del cual se proporciona acceso a una fuente de energía

renovable a través de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad a dichas comunidades. [9]

Es de gran importancia mencionar que a nivel mundial el recurso de las energías renovables es una fuente de explotación muy provechosa para la producción de energía limpia lo cual conlleva a tener un mejor impacto ambiental, produciendo beneficios a la matriz energética que se desarrolla en cada país.

Muchas universidades a nivel nacional han realizado estudios sobre energías fotovoltaica, las más interesadas en este tema están asociadas en primer lugar la Universidad Nacional de Ingeniería, luego la Universidad Autónoma de Nicaragua y por último la Universidad Centroamericana tal es el caso del proyecto de investigación titulado: ***“La energía solar: una alternativa para el desarrollo sostenible de los diversos sectores de Nicaragua”***, dicha investigación se enfoca en describir a la energía solar y sus aplicaciones, los proyectos que permiten mostrar como mediante la implementación de estas tecnologías se ha logrado: a) reducir costos por el ahorro económico por el descenso en el consumo de combustibles fósiles, b) mejorar los rendimientos de producción y servicios, c) incrementar los ingresos y d) mejorar las condiciones de vidas de las personas. Estos impactos aportan argumentos útiles que pueden ser retomados por la instancia correspondiente por el sector energético para la creación de políticas institucionales enfocadas al fomento del uso de la energía solar en diversos sectores. [4]

JUSTIFICACIÓN

A lo largo de los años se ha generado energía eléctrica con combustibles fósiles la cual son recursos finitos que indudablemente van a agotarse; es por ende en este proyecto se interesa por incluir los recursos renovables, los que se definen como formas de energía que tienen una fuente prácticamente inagotable y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable. Dentro de estos tipos de energía encontramos muchas opciones, pero nos enfocaremos en la solar gracias a la ventaja del clima en el municipio de Chichigalpa.

La Alcaldía de Chichigalpa tiene como objetivos atender todas las actividades socio culturales, trámites y atención a la ciudadanía de Chichigalpa. La integración híbrida nos brinda el beneficio de la fluidez en el suministro eléctrico brindando el cumplimiento de las metas propuestas como organización y a ves un impacto en la población de manera positivo.

El desarrollo de este estudio técnico-económico está enfocado a la integración de un sistema híbrido (la instalación de un controlador interconectado a la red, a su vez con paneles fotovoltaicos y un sistema de respaldo). Esto disminuirá parcialmente el costo de las facturas que con año han ido subiendo debido a las distintas crisis del país como afectaciones externas mundialmente.

El dimensionamiento del sistema híbrido fotovoltaico validará la mejor alternativa costo beneficio de la instalación del sistema, de tal manera que se pueda obtener el mejor beneficio a más bajo costo suministrando energía a cargas parciales más críticas o solo cargas críticas que puedan ser abastecidas el sistema de respaldo (banco de baterías).

La importancia de este proyecto radica en los programas institucionales del ministerio de energía y minas, considerando que la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de energía en el mundo que además es comparada con las fuentes no renovables.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio técnico-económico de un sistema fotovoltaico híbrido en la alcaldía municipal de Chichigalpa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el tamaño y características del sistema fotovoltaico híbrido para la Alcaldía de Chichigalpa.
- Valorar la mejor ubicación estratégica de los paneles solares y demás dispositivos a instalar.
- Realizar un análisis económico, considerando también el impacto ambiental con respecto al sistema a emplear.

Capítulo I. Marco teórico

En este documento de investigación monográfico está enfocado a la energía fotovoltaica, donde el sol es la principal fuente de energía renovable ya que envía a la tierra energía radiante, luz visible y radiación infrarroja para la generación de energía eléctrica mediante celdas solares con la finalidad de obtener energía limpia mitigando de esta manera la contaminación de nuestro planeta.

Las definiciones que utilizaremos a continuación tienen como objetivo familiarizarnos con los temas de desarrollo que pertenecen dentro del contexto relacionado al estudio técnico económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red comercial de energía eléctrica.

1.1. El sol como fuente de energía

Se ha logrado definir:

El origen de la energía que el Sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que se realizan constantemente en su interior. En ellas, los átomos de hidrógeno, que es el elemento más abundante en el Sol, se combinan entre sí para formar átomos de helio y, al mismo tiempo, una pequeña parte de la masa de dichos átomos se convierte en energía, de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein $E=mc^2$, la cual fluye desde el interior hasta la superficie y desde allí es irradiada al espacio en todas direcciones. [1]

Aunque el Sol también emite partículas materiales, la mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas (fotones) en una amplia gama de longitudes de onda diferentes, las cuales se desplazan en el espacio vacío a 300.000 km/s, tardando solamente ocho minutos en recorrer los 150 millones de kilómetros que hay entre el Sol y la Tierra.

1.2. Movimiento de la Tierra Respecto al Sol

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del Sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a

partir de la radiación solar obtenida por el sol ya que la Tierra no se encuentra inmóvil, sino que está sometida a movimientos de diversa índole. Los principales movimientos de la Tierra se definen con referencia al Sol y son los siguientes: rotación, traslación, precesión, nutación y bamboleo de Chandler. [6]

Para conseguir este objetivo es necesario conocer un conjunto de conceptos básicos y la terminología utilizada para describir el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, definir una posición sobre la superficie de la Tierra y cuantificar la cantidad de energía solar recibida en una superficie situada en un lugar determinado.

El movimiento de rotación es un movimiento que efectúa la Tierra girando sobre el eje terrestre, que corta a la superficie en dos puntos llamados polos. Este giro es de oeste a este. Una vuelta completa, tomando como referencia a las estrellas, dura 23 horas con 56 minutos 4,1 segundos y se denomina día sidéreo. Si tomamos como referencia al Sol, el mismo meridiano pasa frente a nuestra estrella cada 24 horas, llamado día solar.

El movimiento de traslación Es el movimiento por el cual el planeta Tierra gira en una órbita elíptica alrededor del Sol en 365 días y algo menos de 6 horas. Para un observador situado en el espacio sobre el polo norte terrestre, este movimiento también es levógiro (contrario al de las manecillas del reloj), y lógicamente, visto desde polo sur terrestre, este movimiento es dextrógiro (como el de las manecillas del reloj).

1.3. Angulo de Salida del Sol Respecto a la Tierra

El objetivo de conocer el ángulo del sol conforme a la tierra es de vital importancia ya que la energía solar fotovoltaica puede aprovecharse visto palpable la necesidad de buscar fuentes alternativas renovables.

La distancia media entre la tierra y el Sol es de aproximadamente 149 597 870 km y se utiliza para definir la unidad de distancia denominada unidad astronómica (UA). El punto más alejado de la órbita de la tierra alrededor del Sol (1,017 UA) se llama afelio, se produce en torno al 4 de julio. El punto más cercano de la órbita (0,983

UA) se llama perihelio, se produce en torno al 3 de enero. Se puede ver que la excentricidad de la elipse es tan pequeña que prácticamente parece una circunferencia. [2]

El sentido de rotación de la tierra es de Oeste a Este como se deduce del hecho de que el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste.

El eje polar de la tierra no es perpendicular al plano de su órbita alrededor del Sol, sino que forma un ángulo de 23,45 grados con la perpendicular a dicho plano. Este plano se denomina plano de la eclíptica porque sobre este plano teórico, donde se sitúan las órbitas de la mayoría de los planetas y satélites del Sistema Solar, se producen los eclipses.

Es de importancia conocer inclinación del eje polar provoca los cambios estacionales, las diferentes duraciones de las noches y los días en verano y en invierno, y también la que hace que el Sol esté más alto al mediodía, en verano que en invierno.

1.4. La radiación solar

La tasa a la cual la radiación es recibida por una superficie por unidad de área se denomina irradiancia, la misma que se expresa en unidades de potencia por unidad de área, W/m^2 . La cantidad de radiación recibida por una superficie por unidad de área durante un determinado período se denomina irradiación y se expresa en unidades de energía por unidad de área, Wh/m^2 .

La radiación solar puede ser estimada para un determinado plano, ya sea horizontal, inclinado o normal a los rayos solares. La radiación solar en plano horizontal representa la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal.

Si se considera un plano inclinado, la radiación solar representa la radiación solar incidente sobre una superficie inclinada.

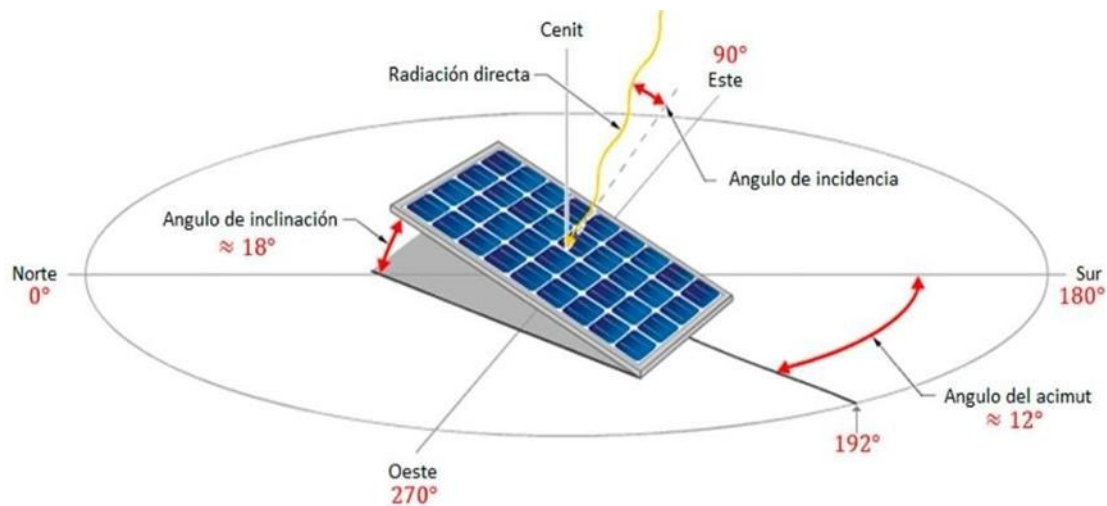


Ilustración 1. Radiación sobre un plano inclinado [11]

Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el sol en el cenit, la irradiancia máxima que un captador podría recibir es de 1,000 W/m² como valor promedio normalizado. [8]

Para un día despejado, la componente recibida mayormente en el captador es la directa, mientras que, en un día nublado, es la componente difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes.

Con el fin de proporcionar un estándar en la industria FV, los fabricantes de paneles han adoptado por definir una nueva unidad llamada sol, para determinar la máxima potencia eléctrica de salida de un panel FV.

Ecuación 1

$$1SOL = \frac{1 \text{ kW}}{\text{m}^2} = \frac{100 \text{ mW}}{\text{cm}^2}$$

1.4.1. Tipos de Radiación Sobre la Atmósfera

La radiación solar sobre la superficie terrestre tiene variaciones temporales, siendo unas aleatorias, como la nubosidad, y otras previsibles, como son los cambios estacionales o el día y la noche, provocadas por los movimientos de la Tierra.

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

- Radiación directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.
- Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.
- Radiación global: Es la radiación total es la suma de las tres radiaciones.

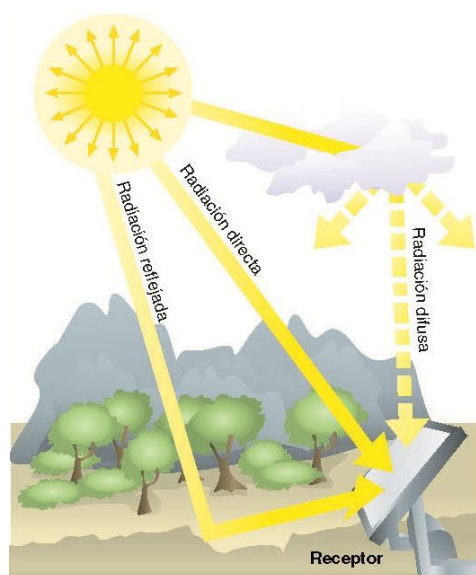


Ilustración 2 . Tipos de Radiación Solar sobre la Superficie [7].

1.5. Efecto Fotovoltaico

La transformación de la energía solar en electricidad se llama conversión fotovoltaica y es resultado del “efecto fotovoltaico”. Este efecto se lleva a cabo en dispositivos opto electrónicos conocidos como celdas solares. Cuando estos dispositivos absorben la radiación solar, se genera de manera instantánea un voltaje de corriente directa en sus terminales y, si a estas se conecta una resistencia fluirá una corriente, evidenciando con ello la generación de potencia eléctrica con la que se produce trabajo. [7]

Las células solares se fabrican con semiconductores. Los semiconductores son elementos sólidos que tienen una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante.

El semiconductor más utilizado es el silicio. El efecto fotovoltaico se inicia en el momento en el que un fotón impacta con un electrón de la última órbita de un átomo de silicio. Éste último electrón se llama electrón de valencia y recibe la energía con la que viajaba el fotón. el fotón no es otra cosa que una partícula de luz radiante.

Si la energía que adquiere el electrón supera la fuerza de atracción del núcleo (energía de valencia), este sale de su órbita y queda libre del átomo y, por tanto, puede viajar a través del material. En este momento, diríamos que el silicio se ha hecho conductor (banda de conducción) y, para hacer esto, hace falta que la fuerza de impacto de un fotón sea, como mínimo, de 1.2V.

Cada electrón liberado deja atrás un agujero, o espacio libre, hasta que lo ocupe un electrón que ha saltado de otro átomo. Estos movimientos de los electrones liberados o de los espacios que dejan atrás es lo que se llaman cargas eléctricas.

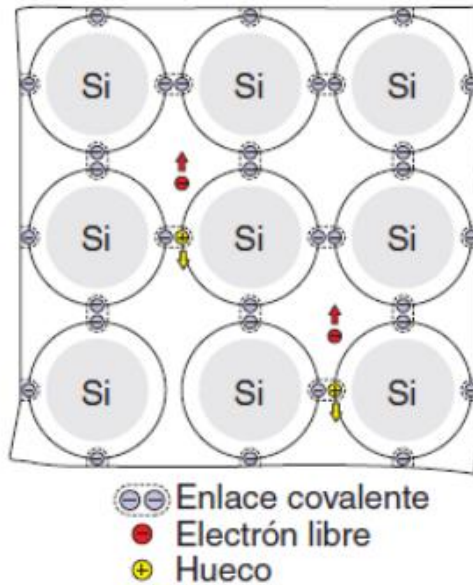


Ilustración 3. Representación de los enlaces de átomos del silicio [7]

Esta corriente de cargas puede alcanzar los contactos y salir del material con el fin de realizar un trabajo útil. Para que esto suceda de manera constante y regular, es necesario que exista la presencia de un campo eléctrico de polaridad constante. Este campo polariza las partículas y actúa como una verdadera bomba que impulsa los electrones en un sentido y, los huecos, en el opuesto.

En las células solares convencionales, el campo eléctrico (0.5 V) se forma gracias a una unión P-N, es decir, una zona del material tiene exceso de electrones (carga negativa), mientras que la otra tiene carencia de ellos (carga positiva), de modo que al ser liberado un electrón es impulsado a través del material hasta los conductos de plata, de baja resistividad.

Los electrones y huecos que se generan al iluminar un semiconductor se mueven por su interior aleatoriamente, cada vez que un electrón encuentra un hueco, lo ocupa y libera la energía adquirida previamente en forma de calor, esto se llama recombinación de un par electrón-hueco. Este proceso no tiene ninguna utilidad si no se consigue separar los electrones y los huecos de manera que se agrupen en diferentes zonas para formar un campo eléctrico, de forma que el semiconductor se comporte como un generador eléctrico. Si de alguna forma se consigue mantener esta separación y se mantiene constante la iluminación aparece una diferencia de

potencial. Esta conversión de luz en diferencia de potencial recibe el nombre de efecto fotovoltaico. Para conseguir la separación de electrones y huecos se utiliza una unión de semiconductores P y N. [7]

1.6. Descripción de los sistemas fotovoltaicos

El concepto que se desarrolla a continuación permite explicar unas de las bases fundamentales del desarrollo de la investigación.

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, pueden realizarse instalaciones de electrificación autónoma o interconectados o la red. [3]

Para el caso de las instalaciones de electrificación autónoma, estas instalaciones tienen una total autonomía energética y se construyen especialmente en lugares en que, por motivos económicos, técnicos y medioambientales, no es posible hacer llegar la red de distribución eléctrica (casas rurales aisladas, sistema de señalización).

Asimismo, para las instalaciones interconectadas a la red eléctrica, distinguimos dos tipos de instalaciones, aquellas que aprovechan la energía producida por el propio edificio e inyectan la sobrante a la red de distribución eléctrica y los que inyectan directamente toda la producción de energía eléctrica a la red de distribución general y se aprovechan de ella para su propio consumo (propuesta de un diseño fotovoltaico).

1.6.1. Generación de electricidad con energía solar fotovoltaica

La generación de energía solar es una alternativa factible para el desarrollo sostenible de diversos sectores, por ende, de las mejores condiciones de vida.

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de

esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica. [2]

La definición que se desarrolla explica la constitución y conexión de las células fotovoltaicas.

Un panel fotovoltaico, también denominado módulo fotovoltaico, está constituido por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco. Las células fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos. [2]



Ilustración 4. Célula solar fotovoltaica [6]

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Ser modulares.
- Tener una larga duración (la vida útil de los módulos fotovoltaicos es superior a 30 años).
- No requerir apenas mantenimiento.
- Tener una elevada fiabilidad.
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso.

1.6.2. Características de los sistemas Fotovoltaicos

- Simplicidad.
- Son livianos y pequeños. Sus dimensiones son muy reducidas y se pueden instalar fácilmente sobre el tejado de las viviendas, entre otros lugares.
- Eficiencia.
- Ausencia de partes móviles (es por esto y por el hecho de que se limpian por la lluvia que).
- Bajo mantenimiento.
- Si aumentan las exigencias de consumo, basta con aumentar el número paneles.
- Inalterables al paso del tiempo.

1.6.3. Características de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos se definen con un conjunto de parámetros expresados en las condiciones denominadas NOCT (temperatura de operación nominal de la célula) o por las condiciones STC (Condición de Prueba Estándar), cuyos valores característicos son los siguientes:

*Tabla 1. Condiciones STC y NOCT
Fuente propia*

Condiciones	NOCT	STC
Irradiación	800 W/m ²	1000 W/m ²
Distribución espectral	AM 1,5	
Temperatura	20°C	25°C
Velocidad del viento	1 m/s	

Los datos expresados en STC se consideran de ensayo y los datos NOCT son típicos de operación. Respecto de los parámetros eléctricos que definen los paneles o en módulos fotovoltaicos, los fundamentales son los siguientes:

- Potencia Máxima nominal (P_{max})
- Voltaje máxima Potencia (V_{MP})

- Corriente de máxima potencia (I_{MP})
- Voltaje a circuito abierto (V_{oc})
- Corriente de cortocircuito (I_{sc})
- Potencia pico
- Factor de forma (FF)
- Coeficiente de temperatura de I_{sc}
- Coeficiente de temperatura de V_{co}
- Coeficiente de la temperatura de la potencia

Definir un determinado panel por los parámetros dados en las condiciones de operación NOCT o de ensayo STC, es de considerar la posible alteración de sus valores ante diferentes condiciones de irradiación, distribución espectral o temperatura ambiente, lo que es imprescindible para aproximar los cálculos de dimensionado a las condiciones reales del lugar en el que se ubican los paneles fotovoltaicos.

1.6.4. Componentes principales de un sistema fotovoltaico

FLUJOS DE ENERGIA EN SISTEMA INTERCONECTADO

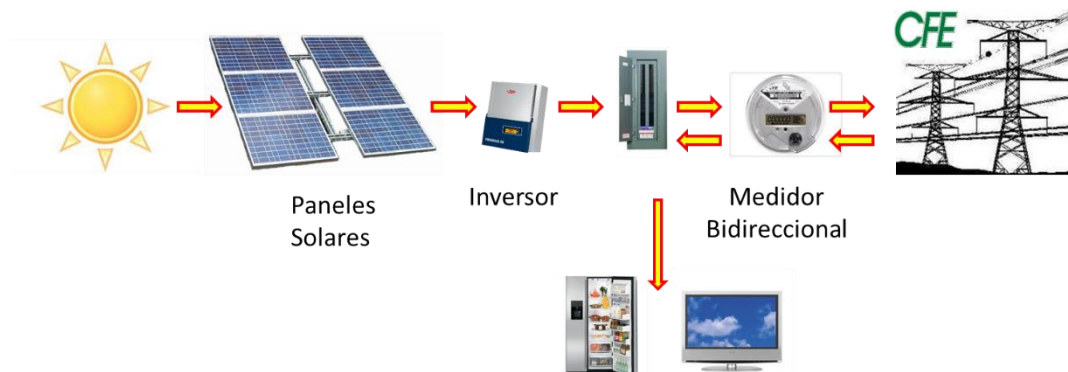


Ilustración 5. Flujo de energía en sistema interconectado [10]

Un sistema fotovoltaico no consta siempre de la totalidad de los elementos que se definirán. Puede prescindir de uno o más de estos, esto depende del tipo y tamaño de las cargas a alimentar, el tiempo, hora y época de operación y la naturaleza de los recursos energéticos dispone en el lugar donde se realice la instalación.

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considere y de las características de la instalación. Un sistema fotovoltaico interconectado con la red es aquel que opera en paralelo con ella.

Las definiciones que se plasmarán son los componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a la red:

- Paneles Fotovoltaicos

El conjunto de paneles fotovoltaicos que puedan captar el sol es parte de la instalación a la que se le llama generador. Son un conjunto de placas fabricadas a partir del silicio, que captan la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua, a baja tensión (12 o 24 V) especificadas por el fabricante. Para su mejor aprovechamiento se busca orientarlas (teniendo en cuenta la ubicación y latitud) con el fin de obtener un mayor rendimiento.

- Controlador de carga

Es aquel que tiene la función de proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas, excesivas al acumulador que le pudieran producir daños irreversibles asegurando que el sistema trabaje con mayor eficiencia. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación. Los paneles fotovoltaicos pueden producir más electricidad de la que las baterías pueden almacenar, sobrecargar las baterías aumenta la pérdida del electrolito, disminuyendo así la vida útil de las baterías además de que es peligroso.

Funcionamiento del controlador de carga:

Los reguladores de carga son de dos tipos serie o shunt. Ambos reguladores tienen un circuito de sensor y regula la corriente hacia la batería cuando la tensión excede un umbral determinado. Los reguladores en serie desconectan la batería de los módulos si la tensión se eleva por encima del umbral. Cuando la batería se descarga el regulador conecta nuevamente los módulos. Estos reguladores son simples, pero tiene el problema que no toda la energía generada es empleada.

- Acumuladores o Baterías

Son el almacén de la energía eléctrica generada, permitiendo disponer de la energía eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, las que tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga durante el día y se descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclado diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación.

- Limitador de tensión

Es aquel dispositivo que tiene la función es de evitar que las baterías se descarguen por debajo de ciertos niveles. Para ello hay que tener en cuenta el factor de fondo de las baterías empleadas. Para baterías estacionarias de plomo – ácido el mínimo de carga permisible es de un 20% sobre su capacidad nominal.

- Inversor

Dispositivo electrónico que tiene la función de transformar la corriente continua (de 12, 24 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y es acumulada en las baterías para que después sea entregada, en corriente alterna (127 V y 60 Hz) a los aparatos eléctricos que la necesitan.

- Protecciones eléctricas (NEMA)

Durante su funcionamiento toda instalación eléctrica puede presentar dos estados operativos, el primero le llamamos Estado de Operación Normal, y se presenta cuando todos los parámetros de la instalación (voltaje, amperaje, frecuencia, temperatura de los conductores, etc.) están dentro de los parámetros previstos; el segundo le llamamos estado de operación anormal y es cuando uno o más parámetros de la instalación eléctrica exceden las condiciones previstas.

Cuando el estado de operación de nuestra instalación eléctrica es anormal, existen distintos tipos de fallas como pueden ser: la sobrecarga, las fallas de aislamiento, un cortocircuito, dependiendo el servicio para el cual fue diseñado.

Las protecciones eléctricas más comúnmente utilizadas son:

- Los fusibles
- Los disyuntores termo magnéticos

- Estructuras de soporte

Las estructuras soporte de los paneles fotovoltaicos son un componente que debe ser elegido con criterios de seguridad y de cumplimiento con la normativa sobre este tipo de instalaciones. Es de considerar especialmente el parámetro de resistencia del soporte, ya que debe mantenerse estable entre vientos fuertes y soportar el sobrepeso que puede provocar la caída de nieve sobre paneles fotovoltaicos.

El número de puntos de sujeción para módulos fotovoltaicos debe ser el suficiente para asegurar su instalación sin que se produzca flexiones en los módulos de valor superior a las especificadas por el fabricante. Así mismo permitirá fijar el ángulo de inclinación que corresponda de un modo seguro y sin alteraciones ante vientos.

- La Caja General de Protección

La caja general de protección es la encargada de salvaguardar toda la instalación eléctrica de un posible cortocircuito o punta de intensidad la cual afectaría a todos los componentes conectados a la red. Esta caja general de protección podrá llevar tanto protecciones térmicas como fusibles.

- Cableado para la conexión de los equipos

Es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con el resto de los equipos e instrumentos. Este cableado de paneles se realizará con materiales de alta calidad para que se asegure la durabilidad y la fiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado y las conexiones entre los equipos deberán tener el grado de protección NEMA 3. [3]

1.7. Sistemas Híbridos

El sistema híbrido es la suma de un sistema interconectado y sistema aislado de los cuales hablaremos con sus definiciones:

Su funcionamiento integra: Inversor fotovoltaico con tecnología MPPT, conectado a servicio eléctrico comercial, sincronizado y con capacidad de funcionar en paralelo, además de un inversor PWM con etapa de carga de baterías, que rectifica el suministro eléctrico de corriente alterna proveniente de inversor fotovoltaico o de la red comercial para acumular el excedente en banco de baterías, ambos sistemas funcionan de forma coordinada para respaldar la carga crítica.

Los inconvenientes en el sistema híbrido son minimizados a factores externos y no de funcionalidad, de esta manera si incrementa la disponibilidad de la energía evitando interrupciones con las distintas etapas de conversión y acumulación de la energía, a consecuencia, se evidencia que el Sistema Híbrido es la mejor opción si se requiere un 99.99% de disponibilidad.

1.7.1. Sistema Aislado

Su funcionamiento rige con el inversor o controlador de carga sin conexión al servicio eléctrico comercial, su operación es a partir de la energía que proviene de los módulos fotovoltaicos producto de la radiación solar, además este sistema integra acumuladores de energía como baterías de tipo Acido Plomo/AGM VRLA/GEL/ Li-Ion, almacenando el excedente de energía para posteriormente usarlo durante la ausencia de radiación solar.

1.7.2. Sistema Conectado a Red

El inversor es capaz de funcionar de forma sincronizada con el servicio eléctrico comercial, ambas fuentes están en fase y pueden funcionar en paralelo, priorizando la energía producida por los módulos fotovoltaicos, el sistema no integra acumuladores de energía (baterías) y el excedente de energía se inyecta al sistema interconectado del servicio eléctrico comercial, permitiendo de esta manera la venta de energía mediante la medición bidireccional. [2]

Capítulo II. Metodología de la implementación

2.1. Introducción

El municipio de Chichigalpa ubicado en el departamento de Chinandega se encuentra en las cercanías de la falda del volcán San Cristóbal, fue elevada a la categoría de ciudad el 25 de septiembre de 1894 durante el gobierno de José Santos Zelaya. Chichigalpa tiene una extensión de 222.5 Km², está ubicada entre las coordenadas 12° 34' 0" de latitud norte y 87° 1' 60" de longitud oeste, sus límites son al norte con el municipio de Chinandega, al sur con los municipios de León y Quezalguaque, al este con el municipio de Posoltega y al oeste con los municipios de Corinto y el Realejo.

Chichigalpa cuenta con una población de 52,000 habitantes de las cuales 41,704 son del área urbana y 10,296 del área rural. Las principales actividades económicas de la ciudad se caracterizan por ser la (tierra del ron y el azúcar) basándose en dos grandes empresas que son el Ingenio Ser San Antonio que cultiva y procesa la caña siendo la materia prima para la producción de azúcar, biocombustible, melaza y energía eléctrica por parte la empresa Ser Licorera se basa en la producción de alcohol produciendo varios tipos de rones.

Para realizar el estudio técnico económico del sistema fotovoltaico híbrido es necesario conocer el funcionamiento y características de los componentes que conforman el sistema híbrido, por ende, se realizará una investigación de fuentes bibliográficas y páginas internet.

La metodología de implementación se describirá inicialmente las condiciones del lugar de estudio. El dimensionamiento y diseño del sistema tendrá como prioridad disminuir los puntos críticos de fallo, aumentando la disponibilidad y confiabilidad de la energía generada y consumida, por la razón de los constantes fallos energéticos de la zona. Las diferentes actividades de la alcaldía socio culturales, trámites y atención a la ciudadanía de Chichigalpa la integración híbrida nos brinda el beneficio

de la fluidez en el suministro eléctrico, brindando el cumplimiento de las metas propuestas como organización y a ves un impacto en la población de manera positivo.

El estudio definirá la factibilidad económica de la instalación, evaluando los costos del proyecto, retorno de inversión, tiempo de recuperación, entre otros, basándose en escenarios de autoconsumo sin opción a venta de energía, los costos se evaluarán de acuerdo con cotizaciones actuales del mercado.



Ilustración 6. Ubicación Geográfica de la Alcaldía municipal de Chichigalpa y Área Disponible
Fuente: Propia

La alcaldía municipal de Chichigalpa está ubicada en el departamento de Chinandega geográficamente en la latitud 12°34'21"N, longitud 87°01'36"W, posee un área total de 1054.7m². La orientación geográfica del edificio corresponde de norte a sur y el área con disponibilidad para la propuesta de los paneles es de 95.6m².



Ilustración 7. Foto real de la Alcaldía municipal de Chichigalpa
Fuente: Propia

Tabla 2. Datos de la ubicación de la Alcaldía y datos ambientales de la zona
Fuente: Propia

Datos de ubicación	
País	Nicaragua
Municipio	Chichigalpa
Lugar	Alcaldía de Chichigalpa
Latitud	12°34'21"N
Longitud	87°01'36"W
Datos ambientales	
Temperatura	33°
V, del viento (m/s)	4
Elevación SNM (m)	89

2.2. Condiciones de la Instalación Actual

La Alcaldía municipal de Chichigalpa con años de funcionamiento, cuenta con una instalación eléctrica que se describirá en sistemas de distribución y protección con el propósito de validar las condiciones de la instalación eléctrica actual y explicar las necesidades de una correcta instalación. La alcaldía no cuenta con sistema de respaldo, en el sistema fotovoltaico propuesto respaldaremos las cargas críticas de la instalación.

El servicio eléctrico comercial posee una configuración Split-phase 110V/220V, 60Hz, con una demanda máxima 21.92kVA, la acometida principal en la instalación

se compone de conductores THHN #1/0 que soporta una corriente máxima de 170A 90°C.

Posteriormente se describirá de forma detallada los distintos sistemas que conforman la instalación eléctrica actual.

2.2.1. Sistema de Distribución y Protección

El circuito eléctrico de la instalación no cuenta con un dispositivo de transición entre una fuente de servicio de energía comercial y un generador o algún otro sistema de emergencia portátil. La distribución principal se realiza a partir de un Interruptor EATON Fi 225 con capacidad de 150 A, 2 polos, voltaje máximo de funcionamiento 690 VCA y con capacidad interruptora de 65 kA.



*Ilustración 8. Interruptor EATON Fi 225, 2 polos 150A
Fuente propia*

La distribución de las cargas eléctricas desde el Interruptor Fi 225, tiene como objetivo proteger las fases (L1 y L2) contra cortocircuito y sobre corriente además de aislar alguna falla proveniente del servicio eléctrico comercial. Posteriormente

luego del Interruptor Fi 225 siguiendo su linealidad inferior en la instalación, se encuentran dos CH.



*Ilustración 9. Centro de Cargas EATON 16 espacios, 2 polos 125A
Fuente propia*

El centro de carga de 16 espacios la figura 9, los breakeres tipo ramal están dirigidos a la protección de cargas eléctricas de baja demanda de corriente, sus capacidades oscilan entre 30 a 40 A en configuración de 1 o 2 polos y el CH de 24 espacios la figura 10, los breakeres tipo ramal sus capacidades oscilan entre 15 a 20 A en configuración 1 o 2 polos.

Todos poseen una capacidad interruptora de 10 kA con funciones de protección contra cortocircuito y sobrecorrientes, la primera es despejada mediante apertura manejada por un electroimán que se aloja dentro del breaker y la segunda por un material bimetálico que acciona el mecanismo de disparo por deformación del bimetálico al estar sometido a una temperatura ocasionada por exceso de corriente.



*Ilustración 10. Centro de Cargas EATON 24 espacios, 2 polos 125A
Fuente: Propia*

Es recomendable separar en centros de cargas distintos las cargas esenciales de las generales, con el objetivo de proteger y manipular de forma adecuada el equipamiento de uso crítico, además el sistema de protección no cuenta con supresores de transientes el cual su funcionamiento es disipar los efectos transitorios de voltajes (periodos muy cortos en el orden de mili o micro segundos donde la magnitud del voltaje incrementa desmesuradamente) en el sistema de puesta a tierra mediante la utilización de resistencias variables, que funcionan como una baja impedancia durante el transiente y una alta impedancia en condiciones normales. Con el objetivo que el sistema mejore la disponibilidad en el equipamiento de uso crítico y mejore el servicio hacia las personas que asisten.

2.2.2. Censo de carga

Las condiciones actuales del sistema eléctrico la demanda máxima actual de potencia aparente es de 21.92kVA a un voltaje monofásico de 110V/220V, a 60Hz de frecuencia. Este valor es estimado en un periodo de un año, para el diseño se tomó en cuenta las instalaciones de la alcaldía municipal de Chichigalpa que según

el plano tiene las dimensiones 45.54m por 23.11m dando un total de 1052.42m² en el cual los requerimientos se encontraron mediante un censo de cargas contabilizando los aparatos electrónicos que se usan en las instalaciones, las cuales las podemos representar en la siguiente tabla.

*Tabla 3. Censo de carga de los aparatos eléctricos
Fuente: Propia*

Aparatos	Cantidad	kVA	Total (kVA)
Bombillo led de 27 W	212	0.027	5.724
Computadora	21	0.2	4.2
Impresora	3	0.3	0.9
Aire acondicionado 12000 BTU	6	1.1	6.6
Cafetera	5	0.9	4.5
Total (kVA)			21.92

2.3. Costos de Facturación

La energía eléctrica en Nicaragua los costos de facturación varían en dependencia de sobrepasar los valores límites, según la demanda de la actividad comercial, épocas festivas y períodos de verano en los diferentes meses del año. Los costos de impuestos por energía eléctrica son variables según el tipo de tarifa.

*Tabla 4. Costos de facturación año 2022 Alcaldía Chichigalpa
Fuente: Propia*

COSTOS DE FACTURACIÓN AÑO 2022		
MES	CONSUMO MES	TIPO DE TARIFA COMERCIAL
Enero	3624	\$1,122
Febrero	1770	\$556
Marzo	2037	\$639
Abril	1899	\$597
Mayo	1785	\$561
Junio	1623	\$494
Julio	1584	\$478
Agosto	2148	\$665

Septiembre	1767	\$551
Octubre	1800	\$562
Noviembre	2097	\$653
Diciembre	2060	\$648
PROMEDIO	2016	\$627
MÍNIMO	1584	\$478
MÁXIMO	3624	\$1,122
CONSUMO ANUAL	24194	\$7,525.80

La tarifa de consumo energético es de tipo T1 BT GENERAL MENOR MONOMIA, esta tarifa es contratada por carga de hasta 25 kW para uso general (establecimientos comerciales, oficinas públicas y privadas, centros de salud, recreación).

2.4. Sistema Propuesto

En este apartado se analizará el funcionamiento del sistema híbrido fotovoltaico considerando el factor de disponibilidad de la energía, para evitar interrupciones no deseadas durante periodos críticos.

2.4.1 Sistema Híbrido

El sistema se integra de la energía solar y la fuente de energía red eléctrica comercial. El sistema híbrido es la suma de los sistemas conectado a la red y aislado, su funcionamiento integra: transfer y un solo Inversor SUN2000 que dispone de 2 MPPT, lo cual permite disponer de dos líneas de paneles con diferentes orientaciones o potencias sin que una afecte a la otra. El rango de voltaje de funcionamiento (90-560V). Esto permite realizar series largas de paneles con cualquier voltaje siempre que están dentro de los rangos indicados.

Cuando la energía producida a través de los paneles cubre el consumo de los equipos o electrodomésticos, el inversor entrega esta energía y si hay excedente carga las baterías o bien entrega el excedente a la red eléctrica, por estas funciones también se conoce como inversor/cargador. En el sistema híbrido son minimizados

a factores externos y no de funcionalidad, de esta manera si incrementa la disponibilidad de la energía evitando interrupciones con las distintas etapas de conversión y acumulación de la energía, a consecuencia, se evidencia que el sistema híbrido es la mejor opción si se requiere un 99% de disponibilidad.

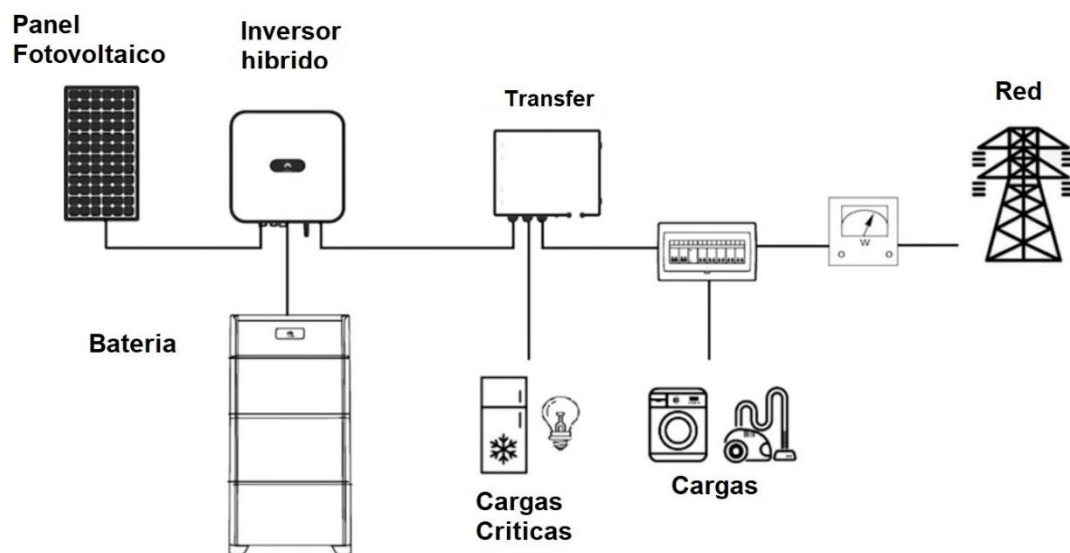


Ilustración 11. Diagrama eléctrico de un Sistema Fotovoltaico Híbrido
Fuente: Propia

Capítulo III. Metodología de Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Híbrido

Los parámetros por estudiar serán de carácter técnico utilizando el máximo aprovechamiento de la energía del sol. La metodología del sistema en este apartado se realizará los cálculos y dimensionamiento necesario de todos los componentes que forman el sistema fotovoltaico híbrido descrito.

El equipamiento del sistema híbrido será seleccionado tomado como base las siguientes generalidades:

- Capacidad de funcionamiento bajo fluctuaciones de la red eléctrica
- Capacidad de monitoreo local y vía remota por medio de una aplicación
- Capacidad de ejecutar mantenimiento sin desconexión de las cargas críticas
- Funcionalidad de los equipos de última tecnología tomando en cuenta los cambios planeados para el futuro.
- Compactación del sistema de los diferentes tipos que hay en el mercado

Los puntos por desarrollar para el dimensionamiento del sistema son los siguientes:

- Cantidad de módulos fotovoltaicos a necesitar
- Selección de módulos fotovoltaicos
- Ángulo de inclinación y orientación
- Dimensionamiento del banco de baterías
- Selección de baterías
- Selección del inversor híbrido

3.1. Sistema Fotovoltaico Propuesto

Chichigalpa es una ciudad muy grande y existe mucha población por ende todos los días de atención se satura. Las diferentes actividades de la alcaldía socio culturales, trámites y atención a la ciudadanía de Chichigalpa la integración híbrida nos brinda el beneficio de la fluidez en el suministro eléctrico, brindando el cumplimiento de las metas propuestas como organización y a ves un impacto en la población de manera positivo.

Las cargas críticas de nuestro sistema propuesto poseen una demanda máxima de 3 kW a un voltaje 110V/220V, 60Hz

*Tabla 5. Demanda máxima y consumo diario de carga críticas.
Fuente: Propia*

Aparatos	Cantidad	KW	Demanda máxima (KW)	Horas de uso diario	Consumo diario (KWh/día)
Computadora	7	0.2	1.4	6	8.4
Impresora	1	0.3	0.3	3	0.9
Lámparas	25	0.027	0.67	6	4.02
Total			2.37		13.32
más un 20%			≈3		15.9

El diseño del sistema híbrido tendrá como prioridad la protección de 7 oficinas que brindan atención, para respaldar 15.9 kWh de consumo diario. Las cargas eléctricas generales y críticas serán separadas físicamente con el objetivo de implementar el respaldo de banco de baterías dedicado a las cargas críticas y también funcionará de forma sincronizada con la red eléctrica comercial.

Nuestro sistema propuesto de 6 kW estará dimensionado a un 50% aproximadamente de la potencia pico necesaria 11.7 kW.

3.2. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Híbrido

3.2.1. Selección de Módulo Fotovoltaico

Los criterios para la selección del módulo fotovoltaico se basarán en:

- Eficiencia del módulo
- Mejor tecnología
- Costo económico
- Vida útil mayor de 25 años a 80% de salida
- Potencia máxima
- Amplio rango de temperatura de funcionamiento
- Factor de llenado mayor 0.7

En el mercado actual se encuentra una serie de paneles fotovoltaicos de diferentes marcas, precios, tecnología y potencia. Con esto seleccionaremos el módulo a utilizar comparando tres tipos de marcas:

Módulo Fotovoltaico marca DAH Solar DHM-72L9-445W

El módulo fotovoltaico de la marca DAH Solar modelo DHM-72L9-445W cumple con los requisitos antes mencionados. Su factor de llenado es:

Ecuación 2

$$FF = \frac{P_{max}}{(V_{oc})(I_{sc})} = \frac{445}{(49.15)(11.32)} = 0.79$$

El factor de llenado de 0.79 es mayor al requisito 0.7 por lo tanto el módulo está apto conforme a sus características técnicas.

*Tabla 6. Características eléctricas Panel DHM-72L9
Fuente: Propia*

STC- Características eléctricas			
Tipo de módulo	DHM-72L9		
Potencia máxima (Pmax)	445	450	455
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49.15	49.30	49.45
Voltaje de potencia máxima (Vmp)	41.96	42.11	42.26
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.32	11.35	11.38

Corriente de potencia máxima (Imp)	10.61	10.69	10.77
Eficiencia del módulo (%)	20.47	20.70	20.93
Coeficiente de temperatura de Isc	0.05%/°C		
Coeficiente de temperatura Voc	-0.31%/°C		
Coeficiente de temperatura de Pmax	-0.35%/°C		
NOCT-Características eléctricas			
Potencia máxima (Pmax)	331	335	339
Voltaje de circuito abierto (Voc)	46.1	46.2	46.4
Tensión de alimentación máxima (Vmp)	39.4	39.5	39.6
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.15	9.17	9.20
Corriente de potencia máxima (Imp)	8.41	8.48	8.54

Módulo Fotovoltaico marca Bauer energy BSP200P

El módulo fotovoltaico de la marca Bauer energy BSP200P cumple con los requisitos antes mencionados. Su factor de llenado es:

Ecuación 3

$$FF = \frac{P_{max}}{(V_{oc})(I_{sc})} = \frac{200}{(22.7)(11.86)} = 0.74$$

El factor de llenado de 0.74 es mayor al requisito 0.7 por lo tanto el módulo está en orden conforme a sus características técnicas.

*Tabla 7. Especificaciones técnicas del módulo Bauer Energy BSP200P.
Fuente: Propia*

Bauer energy BSP200P	
Tamaño del módulo	1332 x 992 x35 mm
Células	72 piezas policristalinas
Potencia máxima (Wp)	200W
Cable	90cm, 4mm ²
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22.7V
Intensidad de cortocircuito (Isc)	11.86 ^a
Voltaje a máxima potencia	18.2V
Intensidad a máxima potencia (Im)	11 ^a
Condiciones del test	1000W/m ²
Voltaje máximo del sistema	1000Vdc
Coeficiente de temperatura - Isc	+0.0008558%
Coeficiente de temperatura - Uoc	-0.29506%

Coeficiente de temperatura – Pmpp	-0.38001%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	0.151
Certificado de producto	TUV (IEC 61215, IEC 61730)
Certificado de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	14.2kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años

Módulo Fotovoltaico marca Trina solar TSM-DE17M(II)

El módulo fotovoltaico de la marca Trina solar TSM-DE17M(II) cumple con los requisitos antes mencionados. Su factor de llenado es:

Ecuación 4

$$FF = \frac{P_{max}}{(V_{oc})(I_{sc})} = \frac{445}{(49.4)(11.46)} = 0.78$$

El factor de llenado de 0.78 es mayor al requisito 0.7 por lo tanto el módulo está actó conforme a sus características técnicas.

*Tabla 8. Características técnicas del módulo Trina Solar TSM-DE17M(II).
Fuente: Propia*

No. de modelo	435	440	445	450	455	460
Garantía de producto	12 años					
Garantía de energía	25 años de 84.8% potencia de salida					
Características eléctricas en STC						
Potencia máxima (Pmax)	435 Wp	440 Wp	445 Wp	450 Wp	455 Wp	460 Wp
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	40.5 V	40.7 V	40.8 V	41 V	41.2 V	41.3 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	10.74 A	10.7 I	10.9 A	10.98 A	11.06 A	11.13 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	49 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V	50 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.31 A	11.39 A	11.46 A	11.53	11.61 A	11.68 A
Eficiencia	19.90%	20.10%	20.40%	20.60%	20.80%	21%
Tolerancia de potencia (+)	1%	1%	1%	1%	1%	1%

Selección de la marca y tecnología del módulo

En comparativa de las tres marcas de módulos fotovoltaicos antes descritos son equipos de última tecnología con alto rendimiento.

El panel solar monocristalino compuesto por células de un único cristal de silicio, tienen mayor eficiencia y rendimiento que el panel solar policristalino, lo que significa que generan más energía con la misma cantidad de luz solar. Además, el panel solar monocristalino tiende a ser más duradero que el policristalino y ofrece una mayor resistencia a la sombra y al viento. Esto significa que requieren menos mantenimiento a largo plazo y, un panel monocristalino, tiene menos probabilidades de degradarse con el paso del tiempo, entre sus principales diferencias con el panel policristalino.

El panel solar policristalino está formado por células con múltiples partículas de silicio cristalizadas. Las mayores diferencias y ventajas respecto al panel solar monocristalino es el precio. El panel solar monocristalino es más caro que el panel solar policristalino. Por lo tanto, si el presupuesto es un factor decisivo a la hora de elegir entre un panel solar monocristalino o policristalino, el panel policristalino es la opción más barata.

*Tabla 9. Cuadro comparativo de paneles solares fotovoltaico
Fuente: Propia*

Marca/modelo	Tecnología	P. máx (Wp)	Eficiencia del módulo%	Años de garantía producto	Años de garantía de energía	Precio
DAH Solar DHM-72L9-445W	monocristalino	445	20.47	12	25	\$ 195
Bauer energy BSP200P	policristalino	200	15.1	10	25	\$ 70
Trina solar TSM-DE17M(II)	monocristalino	445	20.4	12	25	\$ 210

Se seleccionó el módulo DAH Solar modelo DHM-72L9-445W ya que cumple con la tecnología más eficiente, compacto que se ajusta a la potencia de entrada (MPPT) de nuestro inversor, posee un precio menor en comparación a la marca trina solar siendo de la misma tecnología y potencia.

3.2.2. Cálculo de Módulos Fotovoltaicos Necesarios

Promedio mensual de consumo es de 2,016 kWh

Ecuación 5

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{Consumo mensual}}{\text{Días mes}} = \frac{2,016 \text{ kWh}}{30} = 67.20 \text{ KWh}$$

Las horas sol pico (HSP) que indican periodo en que los módulos fotovoltaicos entregarán su máxima potencia. Usaremos como promedio anual del año 2022 en nuestro departamento Chinandega 5.74 HSP según la página Power.larc.nasa.gov

Ecuación 6

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo Diario}}{\text{Hora Solar Pico}} = \frac{67.20 \text{ KWh}}{5.74 \text{ HSp}} = 11.7 \text{ kWp}$$

Nuestro sistema de 6 kW de salida cubrirá un 50% de la potencia fotovoltaica calculada de 11.7 kWp.

Para el cálculo de la cantidad de paneles solares se debe tener en cuenta las STC las cuales se refiere a las condiciones ideales de operación y las NOCT que se refieren a las condiciones reales máximas en las que un panel solar opera de manera óptima bajo pérdidas por temperatura, angulares, espectrales y dispersión de parámetro. El módulo DAH Solar modelo DHM-72L9-445W las condiciones STC (445 W) y NOCT (331 W).

Usando un factor de corrección de 15% por pérdidas por polvo y suciedades se calculó los números de módulos fotovoltaicos.

Ecuación 7

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Potencia Fotovoltaica}}{\text{Potencia del módulo}} = \frac{6000W}{331W} * 15\% \approx 20$$

El sistema deberá disponer de 20 módulos DAH Solar modelo DHM-72L9-445W para proporcionar una potencia máxima pico de 8.9 kWp de entrada a nuestro inversor.

3.2.3. Cálculo de Ángulo de Inclinación y Ángulo de Orientación

La orientación óptima será un valor constante, con una inclinación (β) que va a depender de la latitud ϕ del lugar y un azimut (α) que depende del hemisferio en el que está situado el generador.

La ubicación de la alcaldía está situada en el hemisferio norte, donde el sol sigue una trayectoria noreste a suroeste. Si pretendemos maximizar la captación de energía solar, la superficie tendrá que estar orientada hacia el sur, el azimut óptimo para que una superficie fija reciba la mayor cantidad posible energía solar debe ser ($\alpha=0$), la superficie se debe orientar hacia el sur si está situada en el hemisferio norte.

La fórmula para determinar la inclinación óptima en función de latitud del lugar:

Ecuación 8

$$\beta = 3.7 + (0,69 * \phi)$$

$$\beta = 3.7 + (0,69 * 12) = 11.98$$

Por lo tanto, asumiendo que el ángulo de inclinación en el que se deben de colocar los paneles solares es de 12° orientados hacia el sur.

3.2.4. Selección del inversor

La selección de este inversor se considera de acuerdo con sus datos técnicos y añadiendo que prioriza la disminución de puntos de fallas. Con esto seleccionamos el inversor híbrido comparando tres marcas distintas de inversores de 6 kW de potencia.

Inversor Híbrido marca HUAWEI SUN2000-6KTL-L1

Basándonos en los datos de la tabla características es el más alto en su serie con 9 kWp de entrada y 6 kW.

En el mercado actual este inversor es moderno de conexión a la red para las más avanzadas instalaciones de autoconsumo. Conforme a otros sistemas convencionales que poseen puntos de falla en común que deshabilitan totalmente sistemas fotovoltaicos, como por ejemplo sistemas que utilizan dos inversores (fotovoltaico y baterías) o sistemas que utilizan controlador de carga para bancos de baterías y módulos fotovoltaicos, que al ser común en este punto un daño deshabilitaría ambos sistemas (baterías y módulos fotovoltaicos). Lo cual el inversor HUAWEI SUN2000-6KTL-L1 es una ventaja al salto evolutivo frente a la anterior generación incorporando una serie de mejoras.

Tabla 10. Especificaciones técnicas inversores serie Huawei KTL-L1
Fuente: Propia

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVERSORES						
Especificación técnica	SUN2000-2KTL-L1	SUN2000-3KTL-L1	SUN2000-4KTL-L1	SUN2000-4.6KTL-L1	SUN2000-5KTL-L1	SUN2000-6KTL-L1
Eficiencia						
Máxima eficiencia	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Eficiencia europea ponderada	96.7 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
Entrada (PV)						
Máx. recomendado energía fotovoltaica	3,000 Wp	4,500 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Voltaje de entrada máx.	600 V ³					
Voltaje de arranque	100 V					
Rango de tensión de funcionamiento MPPT	90 V – 560 V ³					
Tensión nominal de entrada	360 V					
Corriente de entrada máxima por MPPT	12.5 A					
Corriente de máxima de cortocircuito	18 A					
Número de rastreadores MPP	2					
Número máximo de entradas	2					

Tabla 11. Características del inversor SUN2000-6KTL-L1
Fuente: Propia

CARACTERISTICAS DEL INVERSOR SUN2000-6KTL-L1						
Entrada (batería DC)						
Batería compatible	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R					
Rango de tensión de funcionamiento	350 ~ 450 Vdc					
Corriente máxima de funcionamiento	10 A @7H_R / 15 A @10H_R					
Potencia de máxima carga	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R					
Potencia máxima de descarga @7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	2,200 W	3,500 W
Potencia máxima de descarga @10H_R	2,200 W	3,300 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Batería compatible	HUAWEI PowerMate ESS Battery 5KWh – 30KWh ¹					
Rango de tensión de funcionamiento	ARACTERISTICAS 350 ~ 560 Vdc					
Corriente máxima de funcionamiento	15 A					
Potencia máxima de carga/descarga	5,000 W ⁴					
Salida						
Conexión a la red	Monofásico					
Potencia nominal de salida	2,000W	3,000 W	4,000 W	4,600 W	4,990 W ⁵	6,000 W
Máx. poder aparente	2,200 VA	3,300 VA	4,400 VA	4,600 VA	4,990 VA ⁶	6,000 VA
Voltaje nominal de salida	220 V / 230 V / 240 V					
Frecuencia nominal de la red de CA	50 Hz / 60 Hz					
Máx. corriente de salida	10 A	15 A	20 A	20.9 A	21.7 A ⁷	27 A
Factor de potencia ajustable	0.8 principal ... 0.8 reserva					
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 @%					
Salida de energía respaldo	Si (a través del Backus Box-5000)					

Debido a que la potencia pico necesaria 11.7 kW, nuestro sistema propuesto abarcará un 50% aproximadamente, se usará 1 inversor HUAWEI SUN2000-6KTL-L1 de 6 kW.

Inversor Híbrido marca Must PV33-6048 TLV

MUST está comprometido con el desarrollo de la energía verde y contribuye con sus esfuerzos para reducir la huella de carbono.

Este inversor de la serie TLV de capacidad de 6 kW, 48V es aplicable a las demandas de los mercados 110VAC / 220V. En su pantalla LCD puede configurar el voltaje de salida, frecuencia, el voltaje de carga, la corriente de carga para diseñar un mejor uso basado en diferentes aplicaciones de carga y posee un controlador de carga solar incorporado para aprovechar la luz del sol libremente ahorrando facturas de electricidad.

Tabla 12. Especificaciones técnicas del inversor Híbrido Must PV33-6048 TLV
Fuente: Propia

Modelo		PV33-6048 TLV
Salida Inversor	Potencia nominal	6KW
	Factor de potencia	1
	Forma de onda	Onda senosoidal pura
	Voltaje de salida RMS	100V \ 110V \ 120VAC (200V \ 220V \ 240VAC, L+L) $\pm 10\%$
	Frecuencia de salida	50Hz o 60Hz ($\pm 0.3\text{Hz}$)
	Eficiencia del inversor	>85%
	Eficiencia en línea	>95%
	Sobrecarga	100 % <Carga <110 % (alarma 5 min y luego detiene la salida) \ 110 % <Carga <125 % (alarma 60 s y luego detiene la salida) \ Cargar > 125 % (alarma 10 s y luego detener la salida)
		18000VA
	Motores electricos	3HP
Batería	Voltaje de batería	48VDC
	Tensión mínima de arranque	(10V \ 10.5V \ 11V)+0.5V for 12VDC mode (*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)
	Corte por baja tensión de batería	10V \ 10.5V \ 11V for 12VDC mode (*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)
	Alarma de tensión de batería baja	(10V \ 10.5V \ 11V)+0.5V for 12VDC mode (*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)
	Alarma de tensión de batería alta	(13.8-14.5V)+1V for 12VDC mode (*2 for 24VDC, *4 for 48VDC)
	Modo asalto	carga $\leq 50 \pm 20\text{W}(120\text{V}) \setminus 100 \pm 20\text{W}(220\text{V})$
Entrada AC	Forma de honda de entrada	Onda sinusoidal pura
	Voltaje nominal de entrada	200Vac \ 220Vac \ 240Vac
	Voltaje de entrada máx.	270Vac MAX
	Frecuencia de entrada	50Hz \ 60Hz (detección automática)
	Eficiencia (modo AC)	>95% (carga, batería llena)
	Tiempo de transferencia CA a CC	15ms(típico)
Cargador solar	Potencia máxima de matriz fotovoltaica	5000W
	Corriente máxima de carga fotovoltaica	80A
	Voltaje CC	24V \ 48V
	Rango de MPPT a voltaje de funcionamiento	60~130VDC @48V
	Voltaje máx. circuito abierto	145 $\pm$ 2Vdc
	Máxima eficiencia	>98%
	Consumo de energía en espera	<2W
Modo de carga	12V	/
	24V	/
	48V	40A
	Corriente de carga mínima 10A, cambiar por cada 5A	

Inversor Híbrido marca Goodwe GW6000-EHR

El Inversor de la serie EHR de 6 kW, 85-450V es un inversor solar fotovoltaico con 2 seguidores MPPT, cargador de baterías de 21.7A y puede funcionar en sistemas de conexión a red y sistemas aislados. Es compatible con las baterías de alto voltaje BYD, la carga de excedentes de energía del sistema fotovoltaico en las baterías para su posterior consumo y también cuenta con monitorización con App móvil, conexión a internet.

Tabla 13. Características técnicas del Inversor Híbrido Goodwe GW6000-EHR.
Fuente: Propia

Ficha técnica GW6000-EHR	
Datos de entrada de batería	
Tipo de batería	Ion de litio
Rango de tensión de batería (V)	85-450
Tensión de arranque (V)	90
Máx. corriente de carga y descarga (A)	25/25
Máx. potencia de carga y descarga (W)	6000
Función de opcional de batería lista	Disponible
Datos de entrada de cadena FV	
Máx. potencia de entrada CC (W)	8000
Máx. tensión de entrada CC (V)	580
Rango MPPT (V)	100-550
Tensión de arranque (V)	90
Tensión de entrada nominal CC (V)	380
Máx. corriente de entrada (A)	12.5/12.5
Máx. corriente cortocircuito (A)	15.2/15.2
Salida AC/Entrada de datos (Conectado a red)	
Potencia aparente de salida nominal a la red (VA)	6000
Máx. potencia aparente de salida a la red (VA)	6000
Máx. potencia aparente desde la red (VA)	1200(6 kW al cargar, 6 kW en función backup)
Tensión de salida nominal (V)	230
Frecuencia de salida nominal (Hz)	50/60
Máx. corriente de salida CA a la red (A)	27.1/28.7
Máx. corriente CA desde la red (A)	52.2
Factor de potencia de salida	1
Datos de salida de backup	
Máx. potencia aparente de salida (VA)	6000
Potencia aparente de salida pico (VA)	7200, 60sec
Máx. corriente de salida (A)	26.1
Eficiencia	
Eficiencia máxima FV	97.60%
Máx. eficiencia FV de MPPT	99.90%
Máx. eficiencia de la batería cargada por sistema FV	98%

Tabla 14. Especificaciones técnicas del Inversor Híbrido Goodwe GW6000-EHR.
Fuente: Propia

Ficha técnica GW6000-EHR	
Datos generales	
Rango de temperatura operativa °C	-35~60
Humedad relativa	0~95%
Altitud operativa (m)	4000
Enfriamiento	Convección natural
Interfaz con el usuario	LED-APP
Comunicación con BMS	CAN
Comunicación con el medidor	RS485
Comunicación con portal	Wifi
Peso (kg)	17
Tamaño (ancho*alto*largo mm)	354*433*147
Montaje	Soporte de pared
Grado de protección	IP65
Topología	Sin transformador

Comparativa y selección de inversor

En la comparativa de los tres inversores híbridos antes descritos son equipos de última tecnología con alto rendimiento, opciones a wifi controlados a larga distancia, la interfaz de usuario es amigable cuenta con pantalla multifunción que pueden trabajar con o sin batería de manera interconectada a la red.

Tabla 15. Cuadro comparativo de inversores híbridos fotovoltaico.
Fuente: Propia

Marca /modelo	P. máx. fotovoltaica	Eficiencia	MPPT	Años de garantía	Precio
Huawei SUN2000L-6KTL	9kWp	98.4%	2	10 años	\$1,631.9
Goodwe GW6000-EHR	9kWp	97.5%	2	5 años	\$1,450.
MUST PV33-6048 TLV	9kWp	95%	1	10 años	\$1,770

Según las necesidades de nuestro sistema se seleccionó el inversor híbrido Huawei SUN2000-6KTL ya que cumple con los requisitos de instalación, confiabilidad, precio accesible debido a que es una de las mejores marcas reconocidas en nuestro país Nicaragua. Goza con una elevada eficiencia de 98.4% siendo superior a su competencia y 2 entradas MPPT que nos permite sacar el máximo aprovechamientos de los módulos solares cuando en nuestro tejado no contemos con una sola orientación o inclinación respecto al sol de esta manera podremos tener la mitad en una orientación y la otra mitad en otra orientación.

El principal aspecto por tomar en cuenta es el tema de la garantía vs precio, aunque no es el más barato, si es el que tiene más años de garantía y confiabilidad de 10 años hasta la posibilidad de ampliarse hasta 20 años con menos mantenimiento. Su sistema de respaldo compatible con baterías LG Chen y las propias baterías del fabricante Luna2000.

La Huawei Backup Box que puede darte suministro en caso de fallo de la red eléctrica, sólo funciona junto a las baterías configuración donde nos permite controlar los horarios de más demanda a nuestro gusto para sacar el mayor provecho energético a cada necesidad de instalación.

3.2.5. Conexiones de Módulos Fotovoltaicos en Inversor

La configuración de la conexión de los módulos fotovoltaicos hacia el inversor está reducida en SUN2000-6KTL-L1:

- Cantidad de entradas MPPT: 2
- Corriente máxima de cada MPPT: 12.5A
- Rango de tensión MPPT: 90-560 VDC
- Voltaje de entrada máximo: 600V
- Potencia: 6000W

Tabla 16. Conexión y cantidad de módulos por MPPT
Fuente: Propia

Módulos de entrada por MPPT (2)						
Módulos en Serie	Entrada (MPPT)	Voltios (MPPT)	I MPPC (A)	Voltaje (Voc)	Iscc (A)	Total, de módulos
10	1	421	10.61	493	11.32	10
Módulos en Serie	Entrada (MPPT)	Voltios (MPPT)	I MPPC (A)	Voltaje (Voc)	Iscc (A)	Total, de módulos
10	1	421	10.61	493	11.32	10

Tabla 17. Potencia total del sistema
Fuente: Propia

Potencia total del Sistema			
Cantidad de inversores	Potencia Pico del Sistema (kW)	Corriente total MPPT del Sistema (A)	Total, de Módulos del Sistema
1	6	21.22	20

No se debe sobrepasar las características antes descritas, para no sobrecargar el inversor en conexiones de entrada. La distribución requerida de los 20 módulos es:

- El inversor tendrá 10 módulos conectados en serie por cada entrada MPPT (2), para un total de 20 módulos conectados al inversor. Cada serie cuenta con 10.61A lo cual no excede los 12.5A por cada entrada MPPT y también la sumatoria de voltaje de cada serie 421V se encuentra dentro del rango de operación 90-560V por cada entrada MPPT.

3.3. Selección y Dimensionamiento del Banco de Baterías

A continuación, se describirán 4 tipos de baterías con sus especificaciones técnicas, características y diferentes marcas del mercado.

Batería HUAWEI LUNA2000-5kW-CO

En el catálogo de Huawei de Sistemas Solares Fotovoltaicos la batería de LITIO HUAWEI LUNA2000-5kW-CO de alto voltaje es compatible con una gran variedad de inversores, pero especialmente a la gama de los inversores Huawei KTL-L1 de entre 2 y 6 kW.

Tabla 18. Características y rendimiento batería LUNA2000-5kW-S0
Fuente: Propia

RENDIMIENTO LUNA2000-5KW-S0			
Módulo de poder	LUNA2000-5KW-C0		
Número de módulo de potencia	1		
Módulo de batería	LUNA2000-5-E0		
Energía del módulo de batería	5KWh		
Número de módulos de batería	1	2	3
Energía utilizable de la batería	5 KWh	10 KWh	15 KWh
Máx. potencia de salida	2.5 KW	5 KW	5 KW
Potencia máxima de salida	3.5 KW, 10s	7 KW, 10s	7 KW, 10s
Tensión nominal (sistema monofásico)	450 V		
Rango de tensión de funcionamiento (sistema monofásico)	350 – 560V		
Tensión nominal (sistema trifásico)	600 V		
Rango de tensión de funcionamiento (sistema trifásico)	600 – 980 V		

Esta batería de Huawei permite conectar en paralelo hasta 30 kWh gracias a su diseño modular de 5 kWh en sus diferentes modelos de 5, 10 y 15 kWh.

Batería BYD Battery-Box Premium HVM 13.8

Características de BYD Battery-Box Premium HVS:

- Capaz de respaldo de emergencia de alta potencia y funcionalidad fuera de la red
- Máxima eficiencia gracias a una conexión en serie real de alto voltaje
- El diseño de enchufe modular patentado no requiere cableado interno y permite la máxima flexibilidad y facilidad de uso.
- Batería de fosfato de hierro y litio (LFP) sin cobalto: máxima seguridad, ciclo de vida y potencia.

- Compatible con los principales inversores de batería de alto voltaje monofásicos y trifásicos.
- Los más altos estándares de seguridad como VDE 2510-50

Tabla 19. Especificaciones técnicas Batería BYD Battery-Box Premium HVM 13.8.
Fuente: Propia

Bauer energy BSP200P	
Tamaño del módulo	1332 x 992 x35 mm
Células	72 piezas policristalinas
Potencia máxima (Wp)	200W
Cable	90cm, 4mm2
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22.7V
Intensidad de cortocircuito (Isc)	11.86 ^a
Voltaje a máxima potencia	18.2V
Intensidad a máxima potencia (Im)	11 ^a
Condiciones del test	1000W/m2
Voltaje máximo del sistema	1000Vdc
Coeficiente de temperatura – Isc	+0.0008558%
Coeficiente de temperatura – Uoc	-0.29506%
Coeficiente de temperatura – Pmpp	-0.38001%
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	0.151
Certificado de producto	TUV (IEC 61215, IEC 61730)
Certificado de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	14.2kg
Garantía del producto	10 años
Garantía de potencia	25 años

Batería LG Chem RESU10

Las baterías de Litio LG Chem RESU son punteras en el sector fotovoltaico de energía para autoconsumo, estas baterías ofrecen características inigualables entre sus competidoras y son un referente en las baterías de litio para autoconsumo. La batería de litio LG además de tener un diseño innovador y vanguardista presenta unas características técnicas que le permiten ser instaladas con gran variedad de inversores, y su software de última generación permite testeos y configuraciones inalcanzables por la competencia. Excelente relación calidad precio, eficacia y eficiencia en una batería compacta y con diseño innovador.

Tabla 20. Especificaciones técnicas de Batería LG Chem RESU10
Fuente: Propia

Modelos	RESU3.3	RESU6.5	RESU10
Energía total (kWh)	3.3	6.5	9.8
Energía utilizable (kWh)	2.9	5.9	8.8
Capacidad (Ah)	63	126	189
Voltaje nominal (V)	51.8	51.8	51.8
Rango voltaje kW	42-58.8	420-58.8	420-58.8
Máximo poder kW	3	4.2	5
Pico de potencia (kW) de 3 sec.	3.3	4.6	7
Dimensiones (W x H x D, mm)	452x401x120	452X654X120	452X483X227
Peso (kg)	31	52	75
Rango de protección de la caja	IP55		
Comunicación	CAN 2.0 B		

Batería LTH L-31T/S-190M

Está diseñada para soportar un gran número de ciclos de vida sin afectar su desempeño. Es ideal para proveer la energía necesaria a sistemas aislados de red y alumbrado público.

Tabla 21. Especificaciones técnicas de Batería LTH L-31T/S-190M
Fuente: Propia

BCI	31T/S
Voltaje (V)	12V
Capacidad de reserva (CR)	190 min.
Polaridad poste al frente (Izq / Der)	(+) / (-)
Garantía	12 meses
Reemplazo sin costo	12 meses
Largo (mm)	330 mm
Ancho (mm)	238 mm
Alto (mm)	172mm
Tipo	LTH especiales

Selección y dimensionamiento de banco de baterías

Se seleccionó la batería HUAWEI LUNA2000-5kW-CO debido a que es recomendable que el fabricante de baterías sea el mismo que el inversor ambos poseen métodos de comunicación y características similares de conexión.

Para el cálculo del banco de baterías hay que realizar un estudio de cargas críticas el cual no puede exceder el 60% de la potencia del inversor. En estas cargas críticas conectaremos solamente las cargas que el sistema respaldara al momento de una interrupción energética.

Ecuación 9

$$\text{Número de baterías} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Capacidad de batería}} = \frac{15.9 \text{ kWh}}{5 \text{ kW}} \approx 3$$

La demanda máxima de las cargas críticas será de 3 kW, con una autonomía de 6 horas, por lo tanto, el sistema contará con un total de 3 baterías de 5 kWh. Lo cual por su sistema modular usaremos LUNA2000-15-S0 que consta de 3 baterías HUAWEI LUNA2000-5kW-CO conectadas en paralelo.

3.4. Backup Box-B0 Huawei (monofásico)

La Backup monofásica de Huawei, en combinación con los inversores de la línea SUN2000, permite optimizar y gestionar de forma inteligente la energía en instalaciones de autoconsumo.

Los inversores de autoconsumo están limitados para funcionar en modo isla, de modo que, en caso de corte de la red eléctrica (por tareas de mantenimiento o reparación, por ejemplo), el inversor se desconecta y deja de inyectar energía a la red, evitando así situaciones de peligro para los operarios que realizan las tareas de mantenimiento.

Con la Backup Box garantizamos la continuidad del suministro de energía durante estos cortes de la red para alimentar los equipos que necesitan mantenerse encendidos (cargas críticas), ya sea mediante las placas solares o mediante la batería.

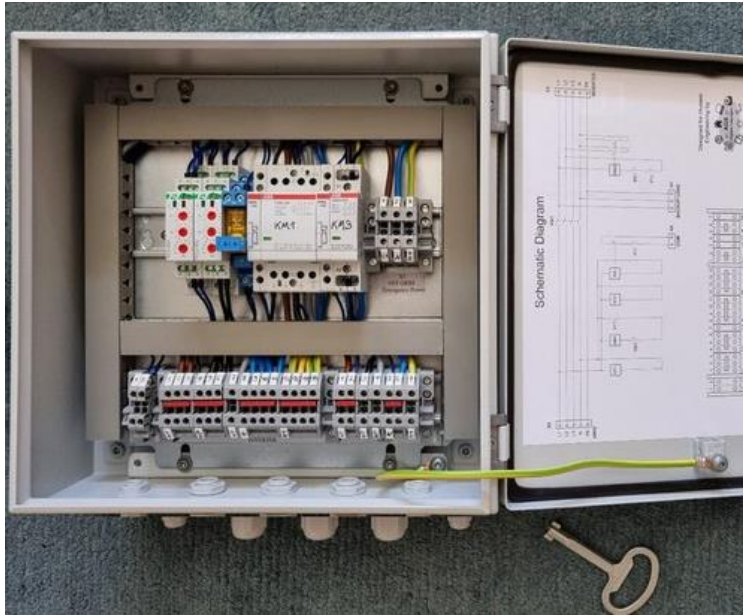


Ilustración 12. Backup Box-B0 Huawei (monofásico)

Fuente: www.wccsolar.net/product-page/huawei-backup-box-b0-monof%C3%A1sico [12]

Características técnicas Backup Box-B0

- Salida AC (en red)
- Conexión a red: Monofásico
- Tensión nominal: 220V / 230V
- Frecuencia AC: 50Hz /60Hz
- Rango de voltaje salida AC: 198V - 253V
- Salida AC (función backup)
- Conexión de carga: Monofásico
- Tensión nominal: 220V / 230V
- Frecuencia AC: 50Hz /60Hz
- Potencia máxima aparente: 5.000VA
- Corriente de salida máxima: 22.7A
- Tiempo de conmutación:<3s
- Entrada AC
- Tensión nominal: 220V / 230V
- Frecuencia AC: 50Hz /60Hz

- Inversores compatibles: SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1
- Dimensiones: 400 x 350 x 130 mm (Alto x Ancho x Profundo)
- Peso: 11kg
- Grado de protección: IP 65

3.5. Factibilidad Económica

El dimensionamiento de los costos de suministro e instalación del diseño propuesto, los precios de los equipos y dispensa eléctrica se cotizó con el valor actual del mercado.

El dimensionamiento económico del proyecto tiene como referencia los costos actuales de:

- Costos de (módulos fotovoltaicos, inversor, baterías, backup box y equipamiento de montaje.
- Costos de materiales eléctricos de conexión, distribución y protección.
- Costos de Impuestos de Ingreso
- Mano de obra especializada
- Costos de abastecimiento de materiales de instalación.
- Márgenes de ganancia

3.5.1. Dimensionamiento Económico de la Propuesta

Los precios del sistema fotovoltaico enumerados en la siguiente tabla:

*Tabla 22. Precio de Venta del Sistema PV Híbrido
Fuente: Propia*

No.	DESCRIPCIÓN	U/M	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
SUMINISTRO					
1	HUAWEI SUN2000-6KTL-L1	UND	1	\$ 1,631.9	\$ 1,631.5

2	HUAWEI LUNA2000-5kW-CO	UND	3	\$ 2,501.6	\$ 7,504.8
3	DAH Solar modelo DHM-72L9-445W	UND	20	\$ 195	\$ 3,900
4	Rack para baterías	UND	1	\$ 85	\$ 85
5	Disyuntor Solar MCB, fusible PV 20A, DC 250-1000V	UND	2	\$ 27	\$ 54
6	HUAWEI BACKUP BOX-5000	UND	1	\$ 550.8	\$ 550.8
7	BougeRV 23PCS MC4 Solar Panel Cable Conector 23 Pares MC4 macho/hembra	UND	2	\$ 28	\$ 56
8	AWTSUNCON Portafusibles en línea PV 1000V 20A con conector macho/hembra	UND	2	\$ 41	\$ 82
INSTALACIÓN					
9	Mano de obra para la instalación: - Estructura de soporte para los módulos PV - Conexiones inversor con: baterías, backup box, paneles fotovoltaicos. - Conexiones de carga y red eléctrica. - Unión de baterías	UND	1	\$ 850	\$ 850
10	Abastecimiento de materiales para la instalación de: - Estructura de soporte para los módulos PV - Conexiones inversor con: baterías, backup box, paneles fotovoltaicos. - Conexiones de carga y red eléctrica. - Unión de baterías - Circuitos de distribución	GLB	1	\$ 560	\$ 560

TOTAL DE SUMINISTRO	\$ 13,864.1
TOTAL DE INSTALACIÓN	\$ 1,410
TOTAL SIN IVA	\$ 15,273.1
TOTAL, CON IVA	\$ 17,564.41

El costo del proyecto corresponde a \$ 15,273.4 y el precio de ventas con impuesto de valor agregado es de \$ 17,564.4. El costo de servicio de instalación tomando 10 días para la obra con personal especializado.

El sistema no contemplará escenario de venta de energía, ya que el sistema esta dimensionado aproximadamente 50% de la potencia demandada. Por ende, no se incluye el cambio de medidor energía convencional a uno bidireccional que indique la energía entregada, recibida, neta y unidireccional (no será comercializada por motivos legislativos).

La viabilidad económica se analizará en incisos posteriores y solo estudiará las condiciones del sistema fotovoltaico híbrido.

Valor Actual Neto (VAN):

Es el valor actual de la inversión y de los flujos netos, es decir, flujos en los cuales en cada periodo ya se efectuó el cálculo de ingresos menos egresos del proyecto. La tasa de descuento que se utiliza es el COK, esta tasa se puede considerar como un costo adicional del proyecto, que castiga los beneficios futuros (ya que los disminuye) debido a que hoy estos no son efectivos. El criterio de decisión es el siguiente:

- $VAN > 0$, es recomendable realizar la inversión, indica que se obtendrá una ganancia respecto a la mejor alternativa de inversión.
- $VAN = 0$, es indiferente que se elija la inversión propuesta o se invierta en la mejor alternativa. Es decir, la rentabilidad que proporcionan es la misma.
- $VAN < 0$, el inversionista deja de ganar respecto a su mejor alternativa, por lo que no es conveniente realizar el proyecto.

El VAN se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 10

$$VAN = \sum_{i=0}^n \left(\frac{FCi}{(1+r)^i} \right)$$

Donde:

VAN: Valor actual neto

n: Vida útil del proyecto

i: Año de operación

r: Tasa de Descuento (COK)

FC: Flujo de Caja (Diferencia entre ingresos y egresos de activos monetarios)

Tasa Interna de Rentabilidad:

La tasa de rendimiento interno debe ser comparada con una tasa mínima de corte, que representa el costo de oportunidad de la inversión. Se trata de dos porcentajes que pueden ser comparados de forma directa, y el que sea mayor, representará entonces una mayor rentabilidad.

De esta forma, se puede realizar una comparación simple entre ambos porcentajes y de acuerdo con esta comparación se determina si el proyecto se debe o no se debe llevar a cabo. El análisis de la TIR es el siguiente, donde *r* es el costo de oportunidad.

- Si $TIR > r$ (**COK**), entonces se rechazara el proyecto.
- Si $TIR = r$ (**COK**), indiferente aprobar o rechazar el proyecto.
- Si $TIR < r$ (**COK**), entonces se aprobara el proyecto.

Ecuación 11

$$0 = \sum_{i=0}^n \left(\frac{FCi}{(1+TIR)^i} \right)$$

TIR: Tasa interna de retorno

n: Vida útil del proyecto

i: Año de operación

FC: Flujo de Caja

Retorno de la Inversión (ROI):

Es un indicador financiero que permite determinar el periodo de tiempo en el cual la inversión realizada puede ser recuperada. Para su cálculo, se utiliza el valor de flujo de fondos netos del proyecto, actualizados con la tasa de descuento r .

3.5.2. Análisis Financiero

El análisis financiero de viabilidad del proyecto se realizará con el cálculo e interpretación del Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). La consideración del estudio abarcará el escenario de:

➤ Autoconsumo de Energía (Sin opción a venta)

En un sistema de autoconsumo de implementación en sectores públicos y privados no es recomendable generar más energía de la que podemos consumir, en la práctica si no se cuenta con un medidor bidireccional la energía inyectada a la red puede aumentar el costo de facturación. Estos medidores no se comercializan, solo pueden ser autorizados y entregados por DISNORTE quienes lo facilitan a las empresas con las que tienen contrato de intercambio de energía.

En Nicaragua existe la ley 532 “**Ley para la promoción de generación eléctrica con fuentes renovables**” que tiene como objetivo estimular y promover las inversiones y desarrollo de proyectos de generación eléctrica con fuente renovable.

El ministerio de energía y mina de conformidad al párrafo segundo del art. 22 de la ley No. 272, Ley de la industria eléctrica reformada y publicada en la gaceta en 5 de Julio del 2017, establece: **para los casos de generadores distribuidores, esto deberán cumplir con los dispuesto en la normativa de generación distribuida que para tal efecto emitirá el ministerio de energía y minas.** Dicha ley tiene como

objetivo establecer los requisitos, criterios, procedimientos, metodologías y responsabilidades administrativas, técnicas y comerciales que deben cumplir las empresas distribuidoras de energía eléctrica y las personas naturales o jurídicas que proyecten instalaciones de generación de energía eléctrica de tipo renovable para autoconsumo conectadas a un sistema de distribución.

Las condiciones actuales en términos legislativos no permiten la venta de energía como generación distribuida y sin poseer aval de agente.

3.5.3. Análisis de la Proyección

Sistema Fotovoltaico Híbrido de Autoconsumo de Energía (Sin opción a venta)

El análisis tomará como fundamento un período de 10 años para su estudio, comenzando del año cero donde el período de inversión inicial \$ 17,564.41 dando un flujo de caja siempre negativo.

El precio de la energía es de referencia a indicativos promedios del Banco Central de Nicaragua para tarifas comerciales básicas, como precio inicial de 0.18\$/kWh, con un incremento anual del 1%.

*Tabla 23. Proyecciones Anuales de Facturación y Consumo PV Híbrido
Fuente: Propia*

Proyecciones Anuales de Facturación y Consumo			
Período	Consumo de energía anual	% de incremento en facturación anual	Costo de facturación anual \$ 36,37
1	24194	0%	\$7,383.93
2	24194	1%	\$7,457.77
3	24194	2%	\$7,531.60
4	24194	3%	\$7,605.44
5	24194	4%	\$7,679.28
6	24194	5%	\$7,753.12
7	24194	6%	\$7,826.96
8	24194	7%	\$7,900.80
9	24194	8%	\$7,974.64
10	24194	9%	\$8,048.48

Tabla 24. Energía Generada Anual
Fuente: Propia

Energía Generada Anual												
Meses	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Incidencia Solar promedio mensual HSP 2021	5.25	6.04	6.58	6.21	6.09	5.32	5.85	5.8	5.76	5.57	5.37	5.12
Días trabajados	26	23	27	22	25	26	25	26	24	26	26	24
Irradiación mensual HSP	137	139	178	137	152	138	146	151	138	145	140	123
Porcentaje despejado 2022	87%	85%	80%	73%	47%	35%	50%	61%	56%	45%	56%	72%
Irradiación mensual utilizada HSP	119	118	142	100	72	48	73	92	77	65	78	88
Potencia instalada kWp	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
Energía generada mensual kWh/mes	1057	1051	1265	888	637	431	651	819	689	580	696	787
Energía promedio generada al año kWh/año	9,549.92											

En la tabla 24 se describe la incidencia solar promedio mensual de la página Power.larc.nasa.gov. y los datos de porcentaje despejado se obtuvieron de la página Weather Spark donde se describe el clima y tiempo promedio anual en Chichigalpa

Tabla 25. Energía Generada y Ahorro del Sistema Híbrido PV
Fuente: Propia

Período	Energía generada al año (kWh/año)	% de incremento en facturación anual	Ahorro en dólares
1	9549.92	0%	\$2,914.60
2	9549.92	1%	\$2,943.75
3	9549.92	2%	\$2,972.90
4	9549.92	3%	\$3,002.04
5	9549.92	4%	\$3,031.19
6	9549.92	5%	\$3,060.33
7	9549.92	6%	\$3,089.48
8	9549.92	7%	\$3,118.63
9	9549.92	8%	\$3,147.77
10	9549.92	9%	\$3,176.92

Los datos de la tabla 25 sobre el ahorro anual, serán tomados como ingresos en el flujo de caja debido a que es un costo que está siendo asumido por el sistema fotovoltaico. Por tanto, el flujo de caja en el período de estudio es:

Tabla 26. Flujo de Caja
Sistema Híbrido PV
Fuente: Propia

Plan de negocio	
Año	Flujo de caja
0	-17564.41
1	2914.60
2	2943.75
3	2972.90
4	3002.04
5	3031.19
6	3060.33
7	3089.48
8	3118.63
9	3147.77
10	3176.92
TIR	
	11.303%
Tasa de Interés	
	11.000%
VAN	
	227.64

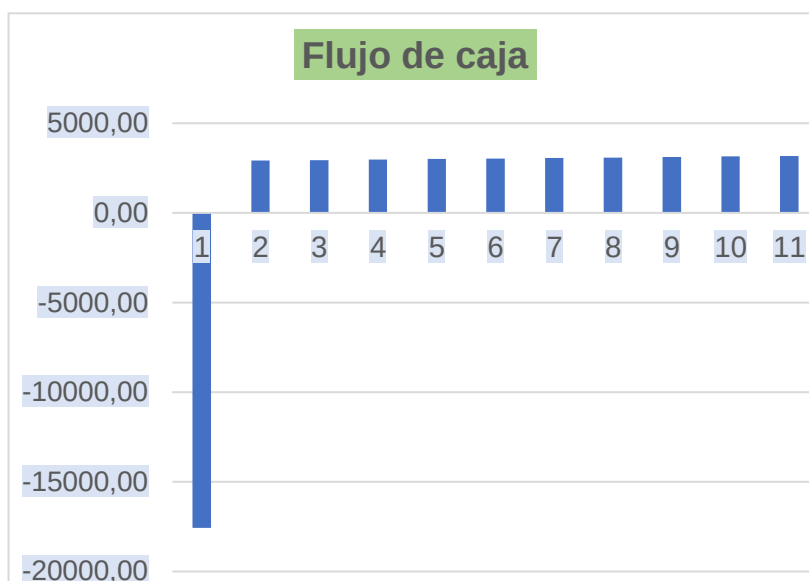


Ilustración 13. Flujo de Caja Sistema Híbrido PV
Fuente Propia

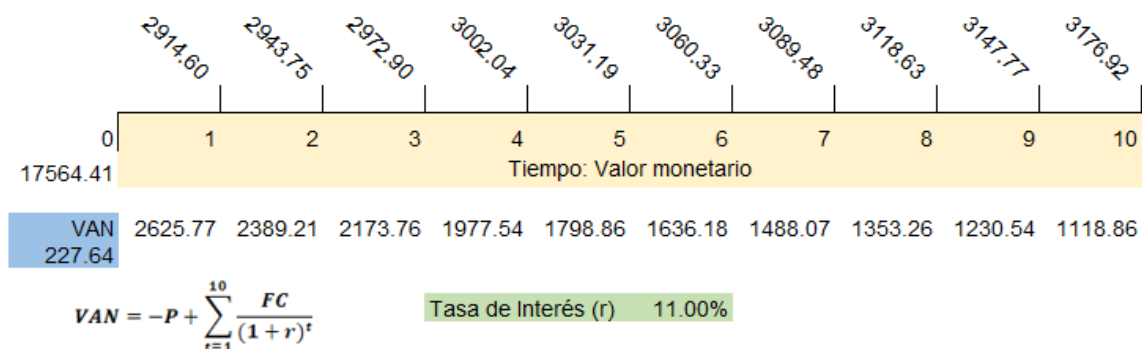


Ilustración 14. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) en un período de 10 años
Fuente: Propia

En el Sistema Fotovoltaico Híbrido de Autoconsumo de Energía sin opción a venta de energía, las ganancias son totalmente mermadas al autoconsumo de energía, siendo el proyecto viable solo a un período de estudio de 10 años y con una tasa de interés de 11% obteniendo ganancias de hasta \$227.64

Además de los descrito anteriormente, la vida útil del sistema híbrido es de 20 a 25 años aproximadamente, es decir que los beneficios de inversión después del período de recuperación del capital invertido en 10 años se gozarán aproximadamente de 15 años de energía gratis.

Tasa de Interés	VAN
0%	12893.2
2%	9751.65
4%	7063.14
6%	4750.12
8%	2749.94
10%	1011.76
TIR 11,303%	0

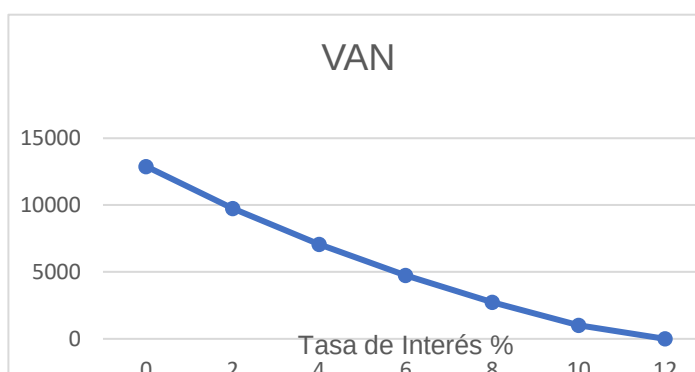


Ilustración 15. Comportamiento del VAN y TIR
Fuente: Propia

En la ilustración 15, podemos observar el comportamiento del valor actual neto (VAN) a la medida que variamos el valor de la tasa de interés, hasta llegar al valor de la tasa de interés de retorno (TIR) que es de 11.3% lo que nos expresa una VAN igual a cero así mismo si usamos una tasa de interés mayor de la TIR para el cálculo de la VAN obtendremos un valor negativo determinando que nuestro proyecto no es rentable a esa tasa de interés.

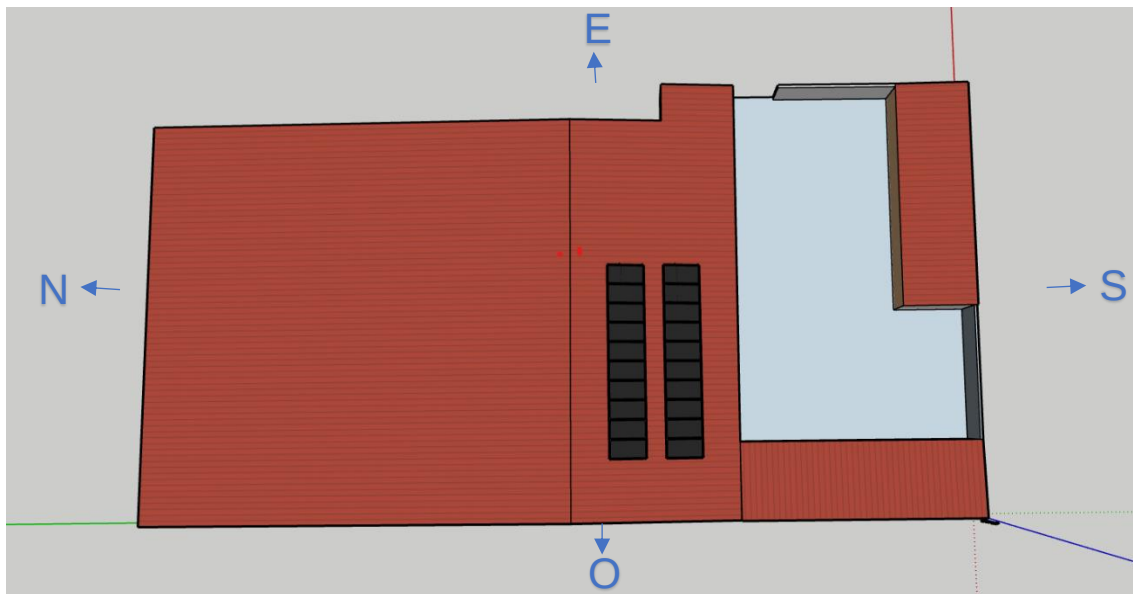
3.6. Descripción Integral del Sistema

En los apartados anteriores se definió el diseño de integración del sistema fotovoltaico híbrido en las condiciones actuales del sistema eléctrico de la alcaldía de Chichigalpa.

Disposición real de los módulos fotovoltaicos

En enunciados anteriores se definió la ubicación de los módulos fotovoltaicos sobre la superficie del techo, la cual se instalarán los 20 módulos DAH Solar modelo DHM-72L9-445W.

La disposición real del plano se muestra a continuación:



*Ilustración 16. Diseño del plano alcaldía de Chichigalpa y orientación de puntos cardinales
Fuente: Propia*

La ilustración 16 muestra un diseño real del plano con la orientación de los puntos cardinales y área disponible para los módulos fotovoltaicos.

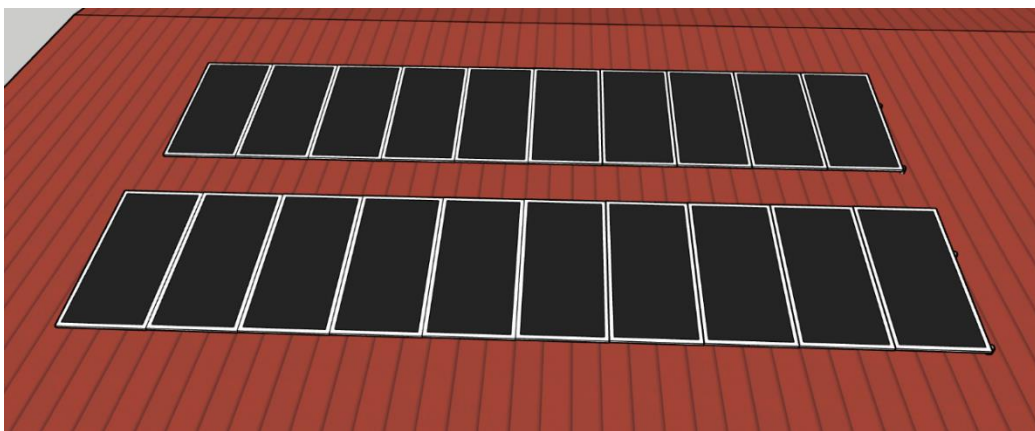


Ilustración 17. Ubicación de módulos fotovoltaicos sobre superficie de techo alcaldía de Chichigalpa
Fuente: Propia

La ilustración 17 muestra la ubicación de 20 módulos fotovoltaicos, en una superficie de techo de 5° de inclinación (solo en el área disponible para módulos PV), como consecuencia de evitar pérdidas por suciedad los módulos serán instalados en estructuras de soporte metálica con un ángulo de inclinación de 12°, orientados a 0° de azimut sur.

Cuarto Eléctrico

La alcaldía de Chichigalpa tendrá disponible un cuarto eléctrico con dimensiones de 9x3 metros, donde se ubicará el inversor, baterías, backup box y panel eléctrico. Las condiciones del cuarto brindan adecuaciones necesarias contando con sistema de climatización, seguridad y área disponible para la implementación del nuevo sistema fotovoltaico híbrido.

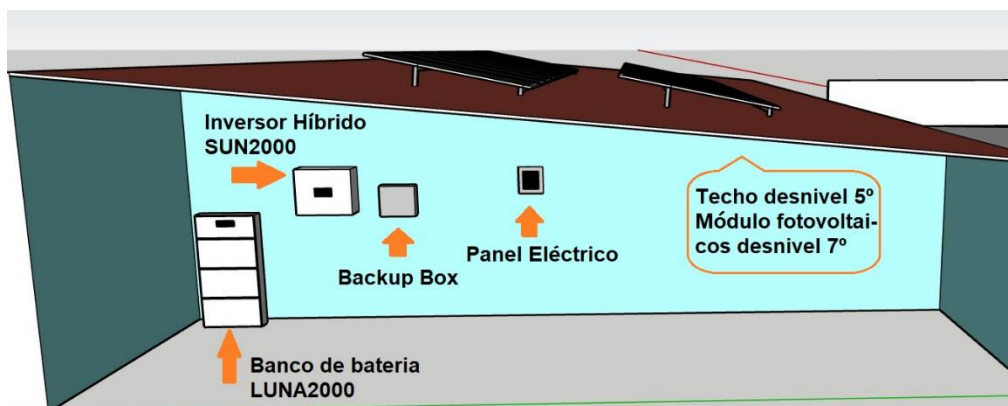


Ilustración 18. Distribución de equipos de cuarto eléctrico alcaldía de Chichigalpa
Fuente: Propia

Diagrama Unifilar

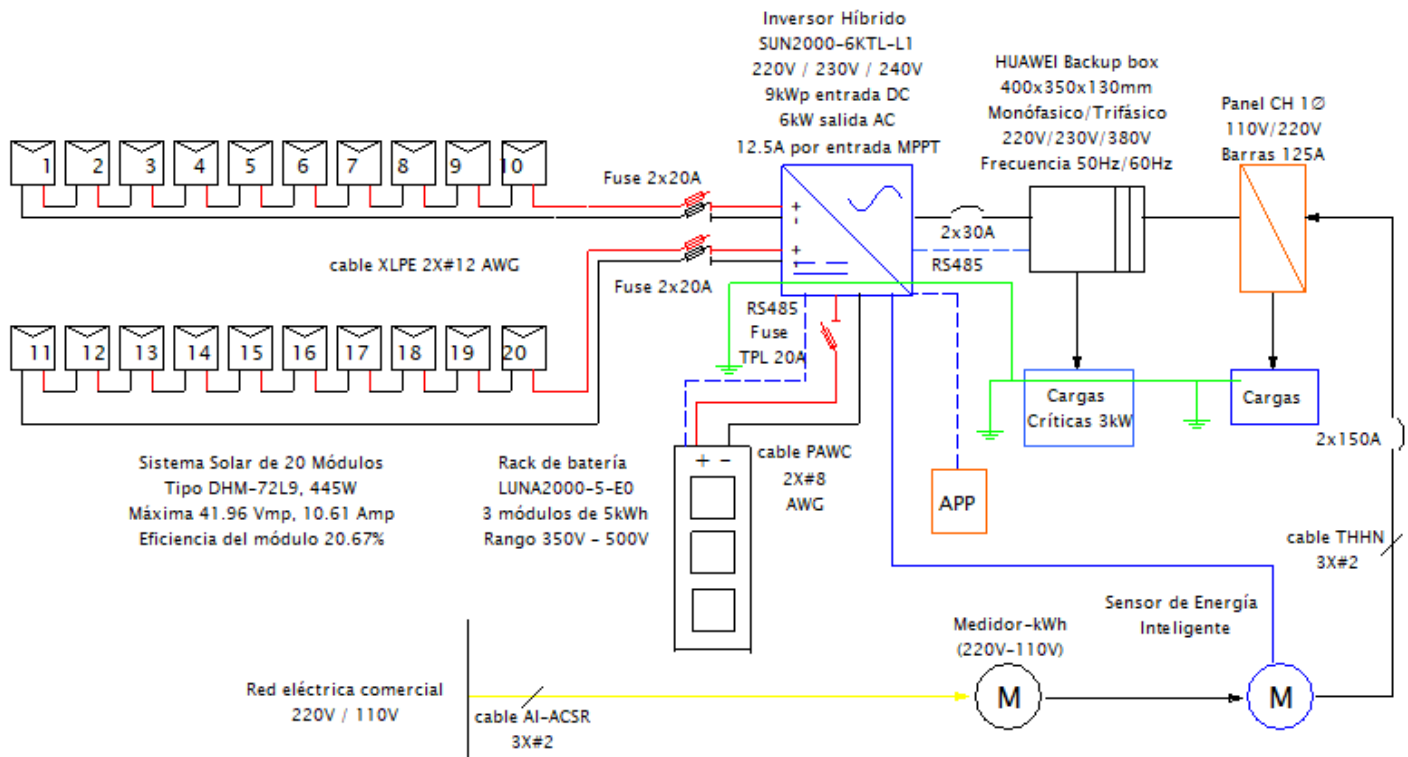


Ilustración 19. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico híbrido propuesto en alcaldía de Chichigalpa
Fuente: Propia

El diagrama unifilar de la ilustración se conectarán 10 módulos en serie por cada entrada MPPT del inversor, teniendo un total de 20 módulos que proporcionará una potencia total de 8.9 kWp en el inversor fotovoltaico.

El inversor funcionara bajo condiciones de seguimiento de punto máximo ya que el voltaje de configuración serie de los módulos está dentro del rango para el funcionamiento del MPPT.

La corriente máxima por serie en condiciones de funcionamiento normal será de 10.61A, con una distribución mediante conductores para instalaciones fotovoltaicas tipo XLPE de un calibre #12 AWG como mínimo para instalaciones eléctricas especificadas en normativas NEC/NFPA 2008, y se utilizaran conectores tipo MC4 para conexiones en serie de los módulos.

La protección de las entradas DC hacia el inversor se realizará mediante fusibles PV 20A, DC 250-1000V para protección contra sobrecarga y cortocircuito, montados en porta fusible.

El banco de baterías constará de tres módulos conectados en paralelo de 5 kW de potencia conectada al inversor híbrido. La protección de entrada de las baterías es de 20A fusible tipo TPL de acuerdo con la normativa IEC 60269, su capacidad se dimensionó para la corriente de carga/descarga máxima de las baterías

La salida del inversor híbrido está conectada al backup box el cual funciona como transferencia al momento de funcionar en modo isla, de modo que, en caso de corte de la red eléctrica el inversor se desconecta y permitiendo al backup box la continuidad del suministro de la carga crítica ya sea por la generación de los módulos fotovoltaicos o por la energía almacenada en el banco de batería.

El sistema usa un sensor de energía inteligente el cual hace más eficiente la producción de energía a la carga, de esta manera cuando la carga del inversor baja se aprovecha la energía para cargar el banco de batería, en caso de que ya estén cargadas regula la producción de tal manera que no se dé la inyección a la red, ya que al no contar con medidor bidireccional la energía será censada por el medidor y se tomará como un consumo aumentado el costo de facturación. Para evitar esto se debe configurar en el inversor híbrido la opción que se conoce como autoconsumo máximo.

3.7. Impacto Ambiental

Como resultado de este análisis, podemos señalar que los impactos medioambientales de la energía solar fotovoltaica (ESFV) son ecológicamente asumibles, la adecuada y exigible gestión convierten a esta fuente energética en uno de los medios de obtención de energía menos agresivos con el medioambiente.

La perspectiva económica de la energía solar fotovoltaica bajo el impacto ambiental de esta tecnología al ser comparada con otras fuentes energéticas. Si a los costes estándar de otras fuentes energéticas, les sumamos los costes ambientales

derivados y otros costes asociados, las diferencias económicas entre la ESFV y las energías convencionales tienden a desaparecer.

3.7.1. Impacto Ambiental de la Producción de Energía Solar Fotovoltaica (ESFV)

La generación de electricidad mediante ESFV requiere la utilización de grandes superficies colectoras y por tanto de una cantidad considerable de materiales para su construcción. La extracción, producción y transporte de estos materiales son los procesos que suponen un mayor impacto ambiental.

Fabricación Paneles solares

La fabricación de un panel solar requiere también la utilización de materiales como aluminio, vidrio, acero, siendo estos componentes comunes con la industria convencional. El progresivo desarrollo de la tecnología de fabricación de estructuras y paneles solares supondrá una reducción del impacto ambiental debido a estos conceptos.

En la producción del panel solar se produce un gasto energético que genera residuos, como partículas de NOx, SO₂, CO₂. Esto se debe a que la energía utilizada en la fabricación del panel solar tiene su origen en la mezcla de fuentes energéticas convencionales del país de fabricación. Sin embargo, podemos afirmar que la emisión de estas sustancias debida a la fabricación de paneles solares es reducida, en comparación con la disminución en la emisión de sustancias de este tipo que supone la producción de electricidad por medios fotovoltaicos, en vez de con fuentes convencionales de energía.

La obtención de silicio de grado metalúrgico es requerida en grandes cantidades para la industria del acero, siendo una pequeña proporción de este material la dedicada a la fabricación de las obleas de silicio. La emisión de polvo de sílice es uno de los inconvenientes de esta industria. La purificación del silicio implica el uso de materiales tales como xilano, mientras el dopado precisa utilizar pequeñas cantidades de compuestos tóxicos, tales como diborano y fosfina. También se precisa utilizar agentes agresivos, tales como el ácido sulfúrico. Todos estos

compuestos y procesos son utilizados en la industria metalúrgica y electrónica no constituyendo, por tanto, un nuevo factor a considerar. En la producción masiva de células solares, deberá estar contemplado un correcto tratamiento de los residuos, tarea asumible al ser conocidos y estar desarrollados estos métodos para grandes producciones en industrias similares a la de producción de células, como las industrias electrónicas.

3.7.2. Huella de Carbono

La huella de carbono representa el volumen total de gases de efecto invernadero que genera cualquier actividad o proceso. Estos gases se emiten principalmente por la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía y son los responsables del cambio climático. El gas de efecto invernadero más conocido es el dióxido de carbono (CO₂). Explicado de manera sencilla estos gases lo que hacen es reducir la permeabilidad de la atmósfera por lo que la radiación solar que entra deja de salir con facilidad y hace que la temperatura global de la tierra esté en aumento.

Se entiende como huella de carbono “la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo, organización, evento o producto”.

- **Huella de carbono de una organización:** Mide la totalidad de GEI⁸ emitidos por efecto directo o indirecto provenientes del desarrollo de la actividad de dicha organización.
- **Huella de carbono de producto:** Mide los GEI emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado y fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado).

Huella de carbono de una organización

Las emisiones asociadas a las operaciones de una organización se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas.

- **Emisiones directas de GEI:** son emisiones de fuentes que son propiedad de o están controladas por la organización. De una manera muy simplificada, podrían entenderse como las emisiones liberadas in situ en el lugar donde se produce la actividad, por ejemplo, las emisiones debidas al sistema de calefacción si éste se basa en la quema de combustibles fósiles.
- **Emisiones indirectas de GEI:** son emisiones consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de o están controladas por otra organización. Un ejemplo de emisión indirecta es la emisión procedente de la electricidad consumida por una organización, cuyas emisiones han sido producidas en el lugar en el que se generó dicha electricidad. Dado al carácter de la presente tesis solo se analizará la emisión indirecta.

Base metodológica del cálculo

En aproximación puede decirse que el cálculo de la huella de carbono consiste en aplicar la siguiente fórmula:

Ecuación 12

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato actividad} \times \text{Factor emisión}$$

Donde:

- **El dato de actividad:** es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI. Por ejemplo, cantidad de energía eléctrica utilizada (kWh de gas natural).
- **El factor de emisión (FE):** supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Estos factores varían en función de la actividad que se trate. Por ejemplo, con relación a la actividad descrita anteriormente (consumo de energía eléctrica), el factor de emisión sería 0.343 kg CO₂ kWh⁻¹

Como resultado de esta fórmula obtendremos una cantidad determinada de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq).

Tomando en cuenta lo antes expuesto y aplicando la ecuación para estimar el ahorro de emisión de gases a la atmósfera al momento de funcionar el sistema fotovoltaico híbrido, que tiene una capacidad instalada de 6 kW la reducción de gases contaminantes es el siguiente:

$$\text{Huella de carbono} = 6 \text{ kWh} \times 0.343 \text{ kgCO}_2\text{kWh}^{-1} = 2.058 \text{ kgCO}_2$$

Si se estima que la planta tendrá un promedio de funcionamiento diario de 5.74 horas, la disminución de gases por día es de 11.812 kgCO₂, en el año se habrá dejado de emitir 4,311.38 kgCO₂.

El propósito de instalar un sistema fotovoltaico híbrido no es únicamente el ahorro económico sino también el impacto ambiental que este produce de manera positiva ayudando así a evitar el efecto invernadero.

El propósito de instalar un sistema fotovoltaico conectado en paralelo a la red no es únicamente el ahorro económico sino también el impacto ambiental que este produce de manera positiva ayudando así a evitar el efecto invernadero. Teniendo presente que nuestro estudio tiene como lugar de estudio la alcaldía de Chichigalpa el cual es una institución que pertenece al gobierno de Nicaragua, es decir, su fomentación sobre el medio ambiente es muy atractivo e importante hablando en términos económico y ambientales.

Conclusiones

1. En el estudio técnico-económico se logró describir el sistema fotovoltaico, características y componentes para el sistema fotovoltaico híbrido. El sistema se diseñó mediante la energía promedio anual del año 2022 como referencia, la capacidad del sistema 6 kW se dimensionó aproximadamente a un 50% de la demanda pico necesaria 11.7 kWp, al ser un sistema conectado a red y funcionando de forma paralela sincronizada el excedente de carga lo asumirá el servicio eléctrico comercial.
2. La ubicación de los módulos fotovoltaicos se basará tomando la inclinación (β) que va a depender de la latitud ϕ del lugar y un azimut (α) que depende del hemisferio en el que está situado el generador. La inclinación será de 12° y la orientación de los módulos será hacia el sur. Se usará como promedio anual del año 2022 en nuestro departamento Chinandega 5.74 (HSP) que indican periodo en que los módulos fotovoltaicos entregarán su máxima potencia según la página Power.larc.nasa.gov.
3. En materia económica se obtuvieron los siguientes resultados: un VAN¹⁰ de \$ 1,743 a una tasa de interés de 12.7% calculado a un período de 10 años. La inversión total es de \$ 17,564.41 a un período de recuperación es de casi 10 años.

Los sistemas fotovoltaicos son amigables al medio ambiente, la huella de carbono representa el volumen total de gases de efecto invernadero en el cual se estima que nuestro sistema al año habrá dejado de emitir 4,311.38 kgCO₂, los cuales contribuyen de manera directa con la reducción de gases de efecto invernadero al no contribuir al consumo de energía proveniente de combustibles fósiles que afectan al medio ambiente, el estudio no afectará áreas verdes, puesto que la instalación de módulos estará sobre el techo.
4. Mediante el estudio técnico-económico de un sistema híbrido fotovoltaico propuesto en la alcaldía municipal de Chichigalpa, se logró evidenciar que el

proyecto es totalmente rentable siendo 25 años el promedio de vida útil de los equipos según los datos de fabricante. El análisis financiero para la propuesta del sistema fotovoltaico híbrido se basó en la generación de energía sin opción a venta, la generación de energía podrá ser totalmente para autoconsumo y la energía no será comercializada por motivos legislativos.

Recomendaciones

Se sugiere la instalación de un interruptor de transferencia automática que posea la capacidad de gestión, configuración y condicionantes para el cambio entre fuentes y también se recomienda la instalación de un generador estacionario con sistema de enfriamiento por radiador y ventilador.

El lugar donde se dispone la instalación de los paneles fotovoltaicos se requiere censar la radiación solar con equipos especializados como un piranómetro, para obtener datos más confiables y calcular con la mayor precisión las cantidades de potencia que se obtendrían en un tiempo recomendado para este estudio.

Es conveniente realizar mantenimiento preventivo al menos una vez al año a toda la instalación, para tener un funcionamiento en óptimas condiciones y mantener la durabilidad del sistema.

Referencias Bibliográficas

- [1] González Bervis, Adiact Evenor y Aguilar Díaz, Iván Alejandro, “Generación distribuida: diseño de un sistema fotovoltaico conectado en paralelo a la red privada en baja tensión para el suministro eléctrico de megatienda SINSA carretera Masaya.” Tesis monográfica, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua, 2019.
- [2] Rivera Lumbi, Heyling Jesebel y Poveda Gutiérrez, Reyna de Los Ángeles, “Estudio técnico-económico de un sistema fotovoltaico híbrido para el Instituto Oftalmológico Munguía en el departamento de Managua.” Tesis monográfica, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua, 2019.
- [3] Ñurinda Cano, Nelson José y Díaz López, Manuel Alejandro, “Propuesta de diseño de un sistema solar fotovoltaico para iluminación en la industria textil SACSA.” Tesis monográfica, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua, 2018.
- [4] Mendieta Muñoz, Melania Carolina, “***La energía solar: una alternativa para el desarrollo sostenible de los diversos sectores de Nicaragua***”, Programa de maestría en economía aplicada, Universidad Centroamericana, Managua Nicaragua, 2014.
- [5] Alcor, E. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Segunda Edición. España, 1995.
- [6] Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. energías renovables y eficiencia energética. Primera edición. Canarias, 2008, pp. 64-67.

[7] A. C. y. G. Santamaría, Instalaciones solares fotovoltaicas 1 edición, España: EDITEX 2010.

[8] Quintero J, «Diseño de un sistema de riego automatizado alimentado con energía solar fotovoltaica para una finca de 5 manzanas,» UNAN-Managua, Managua, 2018.

Web Grafía

[9] Redacción central La voz del sandinismo, “Instalados en Nicaragua 42 sistemas fotovoltaicos en comunidades apartadas”, Julio 2012. [ONLINE]. Disponible: <https://www.lavozdelsandinismo.com/nicaragua/2012-07-01/instalados-enhttps://www.lavozdelsandinismo.com/nicaragua/2012-07-01/instalados-ennicaragua-42-sistemas-fotovoltaicos-en-comunidades-apartadas/nicaragua-42sistemas-fotovoltaicos-en-comunidades-apartadas/>

[10] **sistemas fotovoltaicos interconectados a la red. [Ilustración 5]. Recuperado de** <https://ccee.mx/cursos/sistemas-fotovoltaicos-interconectados-a-la-red/>

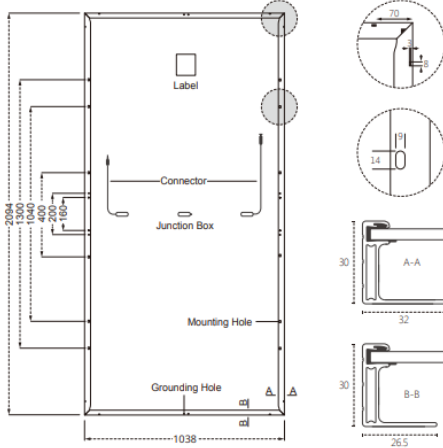
[11] M. Álvarez, «La radiación solar global en la provincia de la Loja, evaluación preliminar utilizando el método de HOTTEL,» INGENIUS, 11 enero 2018. En línea. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/5055/505548117004.pdf>. [Último acceso: 04 enero 2023].

[12] **backup Box-B0 Huawei (monofásico). [Ilustración 12]. Recuperado de** <https://www.wccsolar.net/product-page/huawei-backup-box-b0-monof%C3%A1sico>

Anexos

DHM-72L9-445~455W

Design



Mechanical Specification

Cells Type	Dimension (L×W×T)
Mono 166×83mm	2094×1038×30mm
Weight	Packing
23.5kg	36pcs/pallet, 792pcs/40HQ
Cable	4.0mm ² , Portrait: 300mm(+)/400mm(-)
(Including connector)	Landscape: 1400mm(+)/1400mm(-)
No. of Cells	144 (6×24)
Glass	3.2mm High Transmission, Antireflection Coating
Junction box	IP68, 3 Bypass Diodes
Connector	MC4 Compatible

Operating Parameters

Maximum system voltage	1500V DC
Operating Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum series fuse rating	20A
Snow load, frontside	5400Pa
Wind load, backside	2400Pa
Nominal operating cell temperature	45°C±2°C
Application level	Class A

STC-Electrical Characteristics

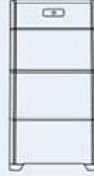
Module Type	DHM-72L9		
Maximum Power (Pmax)	445	450	455
Open-circuit Voltage (Voc)	49.15	49.30	49.45
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.96	42.11	42.26
Short-circuit Current (Isc)	11.32	11.35	11.38
Maximum Power Current (Imp)	10.61	10.69	10.77
Module Efficiency (%)	20.47	20.70	20.93
Temperature Coefficient of Isc		0.05%/°C	
Temperature Coefficient of Voc		-0.31%/°C	
Temperature Coefficient of Pmax		-0.35%/°C	

Standard Test Environment : Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5

NOCT-Electrical Characteristics

Maximum Power (Pmax)	331	335	339
Open-circuit Voltage (Voc)	46.1	46.2	46.4
Maximum Power Voltage (Vmp)	39.4	39.5	39.6
Short-circuit Current (Isc)	9.15	9.17	9.20
Maximum Power Current (Imp)	8.41	8.48	8.54

Standard Test Environment : Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			

Performance			
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy ¹	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Nominal voltage (single phase system)	450 V		
Operating voltage range (single phase system)	350 – 560 V		
Nominal voltage (three phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600 – 980 V		

Communication	
Display	SOC status indicator, LED indicator
Communication	RS485 / CAN (only for parallel operation)

General Specification			
Dimension (W*D*H)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Power module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 240 mm (26.4 * 5.9 * 9.4 inch)		
Power module weight	12 kg (26.5 lb)		
Battery module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 360 mm (26.4 * 5.9 * 14.0 inch)		
Battery module weight	50 kg (110.2 lb)		
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-20°C ~ +55°C (-4°F ~ 131°F) ²		
Operating altitude	0 - 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2,000 m)		
Environment	Indoor / Outdoor		
Relative humidity	5% ~ 95%		
Cooling	Natural convection		
Protection rating	IP 66		
Noise emission	<29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Scalability	Max. 2 systems in parallel operation		
Compatible inverters	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 ⁴ , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		

Standard Compliance (more available upon request)	
Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3

Ordering and Deliverable Part	
Product ordering model ⁵	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket

1. Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25°C

2. Charge/discharge derating occurs when the operating temperature from -20°C to 5 °C & 45 °C to 55 °C.

3. Refer to battery warranty letter for conditional application.

4. Available in Q1, 2021

5. Storage system is ordered and delivered in the form of power module and battery module separately with corresponding quantity.

Version No.:04-(20201006)

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

Technical Specification	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 ¹
Efficiency							
Max. efficiency	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
European weighted efficiency	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
Input (PV)							
Recommended max. PV power ²	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Max. input voltage	600 V ³						
Start-up voltage	100 V						
MPPT operating voltage range	90 V – 560 V ³						
Rated input voltage	360 V						
Max. input current per MPPT	12.5 A						
Max. short-circuit current	18 A						
Number of MPP trackers	2						
Max. number of inputs	2						
Input (DC Battery)							
Compatible Battery	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Operating voltage range	350 ~ 450 Vdc						
Max operating current	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Max charge power	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Max discharge Power @7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Max discharge Power @10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh ¹							
Compatible Battery							
Operating voltage range	350 ~ 560 Vdc						
Max operating current	15 A						
Max charge Power	5,000 W ⁴						
Max discharge Power	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Output							
Grid connection	Single phase						
Rated output power	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W ⁵	6,000 W
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA ⁶	5,500 VA ⁷	6,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz						
Max. output current	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A ⁸	25 A ⁸	27.3 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %						
Backup power output	Yes (via Backup Box-5000 ¹)						
Protection & Feature							
Anti-Islanding protection	Yes						
DC reverse polarity protection	Yes						
Insulation monitoring	Yes						
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11						
Residual current monitoring	Yes						
AC overcurrent protection	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
AC overvoltage protection	Yes						
Over-heat protection	Yes						
Arc fault protection	Yes						
Battery reverse charging from grid	Yes						
General Data							
Operating temperature range	-25 ~ +60 °C (Derating above 45°C @ Rated output power)						
Relative operating humidity	0 %RH ~ 100 %RH						
Operating altitude	0 ~ 4,000 m (Derating above 2,000 m)						
Cooling	Natural convection						
Display	LED indicators; integrated WLAN + FusionSolar APP						
Communication	RS485, WLAN via inverter built-in WLAN module Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional); 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)						
Weight (incl. mounting bracket)	12.0 kg (26.5 lb)						
Dimension (incl. mounting bracket)	365mm * 365mm * 156 mm (14.4 x 14.4 x 6.1 inch)						
Degree of protection	IP65						
Optimizer Compatibility							
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P						



Simple

Automatic detection & switchover

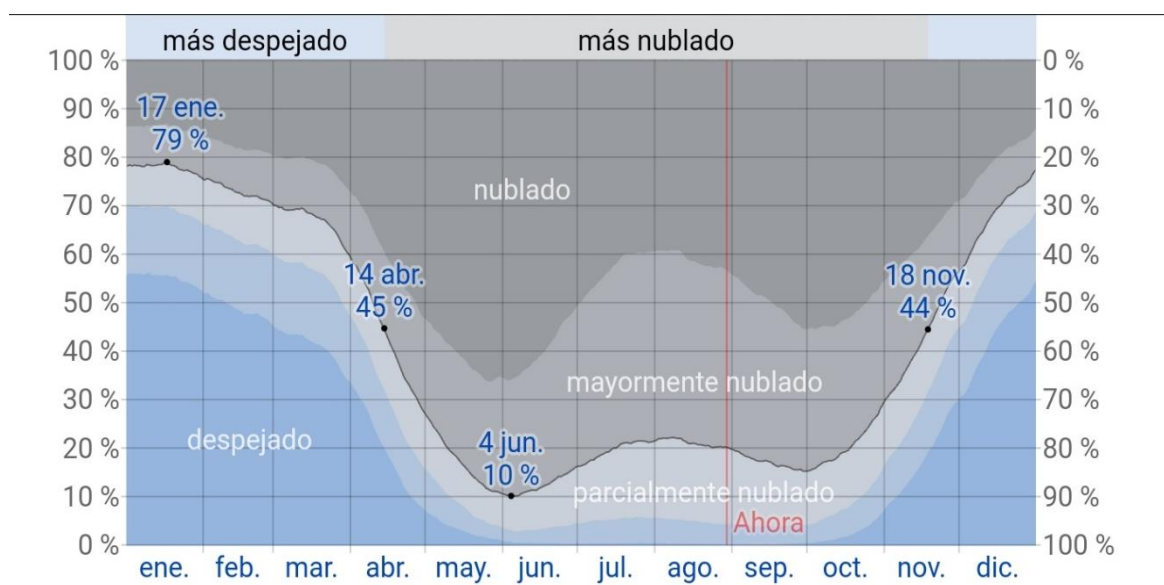


Reliable

Provide Reliable backup power

Technical Specification	Backup Box-B0	Backup Box-B1
AC Output (On grid)		
Grid connection	Single Phase	Three Phase
Rated voltage	220 V / 230 V	380 V / 400 V
AC frequency	50Hz / 60Hz	
AC output voltage range	198 V ~ 253 V	342 V ~ 440 V
AC Output (Backup)		
Load connection	Single Phase	Single Phase
Rated voltage	220 V / 230 V	220 V / 230 V
AC frequency	50Hz / 60Hz	
Maximum apparent power	5,000 VA	3,300 VA
Maximum output current	22.7 A	15.2 A
Switchover time	< 3 s	
AC Input (Inverter)		
Rated voltage	220 V / 230 V	380 V / 400 V
AC frequency	50Hz / 60Hz	
Compatible inverter	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1	SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1
General Specification		
Operating temperature range	-20 °C to +45 °C (-4 °F to 113 °F)	
Relative humidity range	0 %RH ~ 100 %RH	
Dimensions (W * H * D)	400 x 350 x 130 mm (15.8 x 13.8 x 5.1 inch)	
Weight	11 kg	
Degree of protection	IP 65	

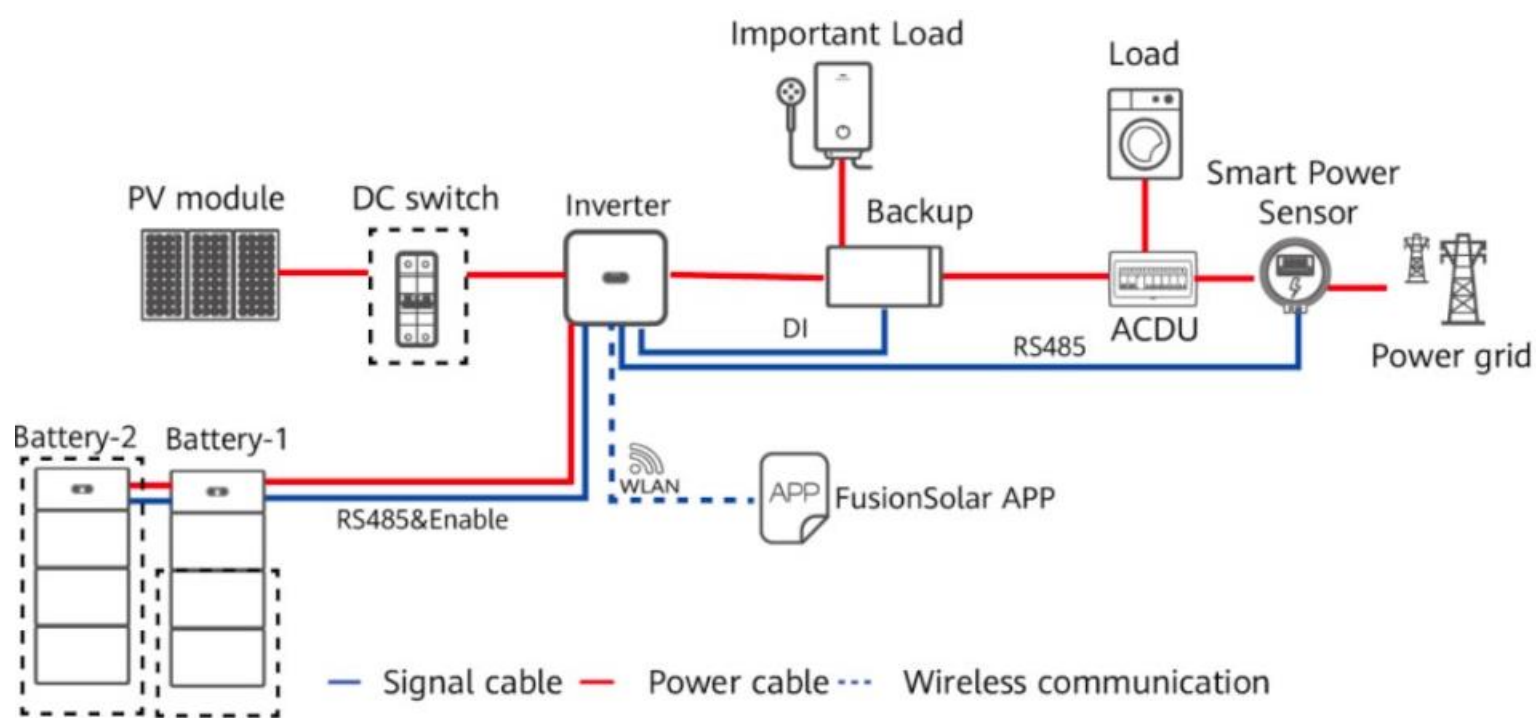
Categorías de nubosidad en el municipio de Chichigalpa



Predicción de irradiación solar coordenada Chichigalpa (nasa power)

POWER_Point_Monthly_Timeseries_2021_2021_012d000...

```
-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2021 through 12/31/2021
Location: Latitude 12.0 Longitude -87.0
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 47.18 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources
availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-
hr/m^2/day)
-END HEADER-
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2021 5.25 6.04 6.58 6.21 6.09 5.32 5.85 5.80 5.76 5.57 5.37 5.12 5.74
```



Sistema inteligente de almacenamiento de energía en string



Optimización de la energía

100% de profundidad de descarga (DoD)
Optimización de energía a nivel de módulo



Inversión flexible

Diseño modular de 5kWh
Escala de 5 a 30 kWh



Segura y confiable

Celda de litio-ferrofosfato (LFP)



Fácil instalación

Módulo de potencia de 12 kg
Módulo de batería de 50 kg



Puesta en marcha rápida

Detección automática en la APP



Compatibilidad perfecta

Compatible con ambos
Inversores monofásicos y trifásicos
residenciales

