



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Electrotecnia y Computación

Trabajo Monográfico

**ESTUDIO DE REDUCCION DE CONSUMO ENERGETICO DOMICILAR
MEDIANTE GENERACION DISTRIBUIDA CON PANELES FOTOVOLTAICOS.**

Para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Elaborado por:

Br. Marvin José Zamora Cantillano

Br. David Josué Alvarado Morales

Tutor:

Ing. Julio Noel Canales

Managua, Nicaragua, octubre 2019.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios autor y consumidor de todo por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, porque en los momentos buenos y malos fue siempre mi luz, mi camino, mi fuerza y fortaleza. Por haberme dado la oportunidad de llegar hasta aquí ya que sin El nada de lo logrado hasta hoy no hubiese sido posible.

Gracias a mi madre Evelyn Cantillano y abuelos Mario Cantillano y Rosa Bojorge que fueron un pilar siempre apoyándome en todo momento incondicionalmente. Por los valores inculcados, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, siempre creyeron en mí. A mi padre Marvin Zamora que no se encuentra físicamente pero que siempre lo tengo presente en mi corazón. A mis tíos, tías, primos y primas que siempre me apoyaron y animaron representando la unidad familiar.

Agradezco la dedicación y tiempo al profesor Julio Canales por compartir sus conocimientos y haber sido nuestro tutor, por habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional, gracias por todo su apoyo y facilidades que nos fueron otorgadas.

Gracias a todos porque siempre estuvieron para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poco de todo lo inmenso que me han otorgado. Dios les bendiga.

Br. Marvin José Zamora Cantillano.

Agradezco primeramente a Dios por permitirme culminar la carrera universitaria con éxito.

A mis padres que han sido la base firme de mis enseñanzas en valores y me han alentado a seguir para completar lo que un día comencé con tanta ilusión.

A mi tutor, el Ing. Julio José Canales por estar siempre al pendiente y poder obtener la esencia de mi reflejada en esta tesis.

Al alma mater Universidad Nacional de Ingenierías por acuerparme en su seno durante el tiempo que duro mi carrera.

A todos los que fueron mis compañeros de clase en particular a Marvin José Zamora Cantillano ya que me ha aportado en un alto porcentaje mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional y a todos los que creyeron en mí aportando un grano de aliento y buenos ánimos para seguir adelante.

Br. David Josué Alvarado Morales.

RESUMEN

La generación distribuida es un tipo de generación eléctrica, que surge como una alternativa importante de apoyo para el servicio de energía eléctrica, además ofrece las ventajas de ser tecnológica y ecológica en países del primer mundo, tales como; China, Reino Unido, Estados Unidos, Alemania, Japón. Su implementación permite el uso de las energías renovables y cada vez, va adquiriendo importancia en el resto de los países, dado que representa una alternativa muy importante de auto consumo y de apoyo de energía hacia la red eléctrica convencional.

El objetivo de este trabajo describe, el estudio de un sistema ahorrador de energía eléctrica, por medio de la generación distribuida usando paneles fotovoltaicos con 1120 Watt para uso domiciliario. La vivienda seleccionada para la instalación del sistema, está ubicada en el barrio Monseñor Lezcano del departamento de Managua, Nicaragua.

Los principales componentes de este sistema ahorrador de energía eléctrica son: cuatro paneles fotovoltaicos de 280 watts cada uno, un micro inversor, un medidor bidireccional y la red eléctrica.

En este estudio la idea es tratar de emplear la “Normativa de generación distribuida renovable para autoconsumo” ley que fue aprobada el 15 de diciembre del 2017. Se pretende presentar un método de como la distribuidora eléctrica del país tratará con cada cliente que se convierta en productor-consumidor, estableciendo una forma o manera de contrato y requisitos para optar al autoconsumo (Generación distribuida).

En resumen, en este trabajo se pretende promover el uso de las energías renovables con paneles fotovoltaicos, para el ahorro energético y reducir de forma considerable el costo de factura de la energía eléctrica (kWh) en el sector domiciliario y a la vez inyectar la energía excedente generada por los paneles fotovoltaicos a la red eléctrica.

INDICE

Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Objetivo general:.....	2
Objetivos específicos:.....	2
Justificación.....	3
1. Marco teórico.....	4
1.1 Generación distribuida.....	4
1.1.1 Ventajas y desventajas de la generación distribuida.....	4
1.2 Energía Solar Fotovoltaica.....	6
1.2.1 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.....	6
1.2.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	7
1.3 Sistemas fotovoltaicos de conexión a la red eléctrica.....	8
1.3.1 Generador fotovoltaico.....	10
1.3.2 Micro inversor.....	17
1.3.3 Red de distribución eléctrica.....	18
1.3.4 Estructura de soporte para los paneles fotovoltaicos.....	19
1.4 Indicadores financieros VAN TIR Y PRI.....	22

1.4.1 Valor Actual Neto (VAN).....	22
1.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).	22
1.4.3 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).	23
1.4.4 Relación costo beneficio (R-B/C).	23
2. Análisis y presentación de resultados.....	23
2.1 Métodos y materiales.	23
2.2 Calculo económico.	24
2.3 Procedimiento para el dimensionamiento del sistema.....	27
2.3.1 Cálculo del número de módulos solares.....	27
2.3.2 Cálculo de la potencia del inversor.....	29
2.3.3 Cálculo para el cableado.	30
2.4 Memoria de cálculo.	32
2.4.1 Ubicación del sistema fotovoltaico.	32
2.4.2 Estimación de consumo energético (Censo de carga).	33
2.4.3 Condiciones meteorológicas según su ubicación geográfica.	34
2.4.4 Descripción general del sistema implementado.	45
2.5 Implementación de la “Normativa de Generación Distribuida Renovable para Autoconsumo”.	47
2.6 Remuneración por excedentes y esquema de facturación.	55

2.7 Mantenimiento de la instalación.	57
2.8 Presupuesto del Proyecto.	57
2.9 Indicadores financieros VAN TIR Y PRI.	58
2.10 Viabilidad económica.....	59
2.11 TEP ahorrados con el sistema instalado.	60
Conclusiones.....	62
Recomendaciones.....	64
Bibliografía.....	65

Índice de figuras

Figura 1: Esquema básico de sistema fotovoltaico de conexión a red.	9
Figura 2: Casos de una instalación fotovoltaica conexión a red.	9
Figura 3: Angulo Azimut	13
Figura 4: Angulo de inclinación.....	14
Figura 5: Esquema de conexión de un micro inversor.....	18
Figura 6: Tipos de estructuras.	21
Figura 7: Diagrama del cableado eléctrico.	41
Figura 8: Diagrama general del sistema de generación distribuida.	45
Figura 9: Medidor bidireccional EDM I Mk10D.	46

Índice de tablas

Tabla 1: Tipos de módulos y su rendimiento.	11
Tabla 2: Características del panel fotovoltaico.	26
Tabla 3: Características del micro inversor.....	27
Tabla 4: Consumo de la vivienda únicamente durante el día.	33
Tabla 5: Valores mensuales de variables HPS y temperatura.....	35
Tabla 6: Eficiencia mensual del sistema.....	35
Tabla 7: Tabla de cálculos de la energía generada por los módulos.....	37
Tabla 8: Tabla de dimensionamiento de los módulos reales a instalar.	38
Tabla 9: Tabla de las características y arreglos de los módulos.	38
Tabla 10: Tabla de dimensionamiento del micro inversor.....	39
Tabla 11: Tabla de cableado eléctrico DC.....	42
Tabla 12: Tabla de cableado eléctrico AC.....	43
Tabla 13: Tabla AWG según la sección.....	43
Tabla 14: Tabla de dimensionamiento del soporte.	44
Tabla 15: Banda de precios.....	55
Tabla 16: Esquema de facturación.	56
Tabla 17: Inversión Inicial.	57
Tabla 18: Vida útil de los equipos.....	58

Tabla 19: Costos de mantenimiento preventivo.....	58
Tabla 20: Ahorros totales con el sistema instalado.	62
Tabla 21: Costo y cantidad de energía excedente.	63
Tabla 22: Resultado de los indicadores financieros.	63

Introducción.

En Nicaragua se pretende cambiar la matriz energética, hasta ahora se ha invertido en energías renovables, tales como: Energía Eólica, Energía Hidroeléctrica, Energía Geotérmica y a menor escala la energía fotovoltaica. Con el fin de evitar el uso de combustibles fósiles y generar energía eléctrica limpia y al mismo tiempo reducir la emanación de CO_2 al medio ambiente.

La tendencia a futuro en Nicaragua es promover e incentivar al usuario a empezar a hacer uso de una fuente de energía alterna (Energía Renovable). Es por eso que el trabajo está orientado al sector domiciliario ya que es el sector que más afecta económicamente a las familias nicaragüenses. Cabe mencionar que Disnorte- Dissur (Empresa encargada de la distribución de la energía a nivel nacional) aplica un subsidio a todo aquel usuario que consume menos de 150 kWh/mes de lo contrario, de no ser así el usuario no aplica al subsidio lo que conlleva un mayor pago monetariamente.

La idea en este trabajo es promover el ahorro energético y económico a través de la generación distribuida mediante paneles fotovoltaicos, conectado el usuario siempre a la red pública de la distribuidora eléctrica. Esto convierte al usuario en productor-consumidor de manera que al haber un mayor o menor consumo que el generado por parte de usuario, el excedente de energía será inyectado a la red eléctrica. Con el fin de que al final de cada periodo mensual de facturación haya resultados positivos no solo por el consumo propio generado que reducirá el costo económicamente sino también obtener el beneficio de inyectar energía eléctrica a la red pública de la distribuidora. Aplicando la “Normativa de generación distribuida renovable para autoconsumo” ley que se aprobó el 15 de diciembre del 2017.

Objetivos.

Objetivo general:

- Realizar un estudio de reducción de consumo energético domiciliario mediante generación distribuida con paneles fotovoltaicos.

Objetivos específicos:

- Determinar la viabilidad económica del sistema de generación distribuida para uso domiciliario aplicando al subsidio tarifario brindado por la distribuidora.
- Diseñar un sistema eléctrico de generación distribuida mediante el uso de paneles fotovoltaicos conectado a la red de distribución eléctrica.
- Calcular el ahorro de las toneladas equivalentes de petróleo (TEP) que producen C_{2} tras el uso de la energía solar fotovoltaica.
- Cuantificar el ahorro de energía convencional, costo y cantidad de la energía excedente producida.
- Calcular los índices financieros como: Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Periodo de Recuperación de la Inversión. (VAN, TIR y PRI).

Justificación.

La implementación de generación distribuida a través de paneles fotovoltaicos es sin duda un sistema ahorrador de energía eléctrica, justificando que hoy día en Nicaragua la matriz energética se tiene que el 44% de energía eléctrica producida es de fuentes no renovables esto equivale a 213 MW según datos de la página web de ENATREL.^[1]

Debemos darle suma importancia al uso de la energía renovable como estrategia al desarrollo energético del país. A nivel internacional se ha comprobado que este tipo de sistema es muy factible y sobre todo ecológico.

Consciente de todo esto, se pretende formar la iniciativa de hacer uso de la generación distribuida en el país a nivel domiciliario y comercial. Lo que por ende conlleva a mejorar la matriz energética del país, contribuyendo a:

- ✓ La reducción de emisión de gases contaminantes de efecto invernadero al medio ambiente.
- ✓ Mayor eficiencia y calidad de la energía reduciendo las pérdidas de distribución.
- ✓ Disminuye el consumo energético tomado de la red pública de la empresa de distribución.

¹ (Mansell, S. (2019). Ministerio de Energía y Mina. Gobierno de reconciliación y unidad nacional. Recuperado de http://www.cndc.org.ni/graficos/graficaGeneracion_Tipo_TReal.php).

1. Marco teórico.

1.1 Generación distribuida.

La generación distribuida para autoconsumo significa que no solo las empresas encargadas de generar energía eléctrica pueden hacerlo sino también que cada cliente que goza del beneficio de la energía eléctrica en el país también pueden generar su propia energía en el mismo lugar donde la consumen. Este tipo de generación busca como satisfacer las necesidades energéticas ya sea parcialmente o totalmente.

La generación distribuida interconectada a la red el productor-consumidor instala su sistema de generación pero a la vez se mantiene la conexión a la red pública de la distribuidora eléctrica. Este tipo de generación distribuida con interconexión funciona de manera que en periodos de generación de electricidad donde no hay un consumo o hay menor consumo que el generado por parte del usuario (Medio día), el excedente de energía producida sea inyectada a la red eléctrica. Luego en periodos donde no hay generación (De noche), pero si consumo, el cliente toma la energía de la red pública. Al final de cada periodo de facturación se hace un balance entre la energía inyectada a la red y aquella consumida por la red.

1.1.1 Ventajas y desventajas de la generación distribuida.

Ventajas:

- Disminuye los costos de operación y mantenimiento aumentado la vida útil de los transformadores y equipos del sistema de distribución.
- Reduce las pérdidas de energía eléctrica tanto en las redes de distribución como en las redes de transmisión.
- Evita la emisión de contaminantes a la atmosfera.

- Aumenta y mejora la calidad del servicio eléctrico ofreciendo una mejor fiabilidad en el sistema eléctrico.
- Incentivos a las tecnologías de generación distribuida (GD), certificados verdes, etc.).

Desventajas:

- Alto costo de inversión inicial.
- La falta de estándares para la conexión de pequeños generadores impide su desarrollo.
- Fluctuaciones de voltaje que afectan a los consumidores vecinos.

La aplicación de la electricidad en los sistemas de generación distribuida se emplea mediante diferentes maneras, dependiendo de la carga a instalar ya sea:

- Consumo eléctrico residencial: Aires acondicionados, refrigeradoras, microondas, duchas eléctricas, lavadoras, iluminación residencial, televisores, equipos de sonidos, abanicos, etc.
- Consumo eléctrico comercial: Centros comerciales, súper mercados, restaurantes, hoteles, oficinas públicas y privadas, etc.
- Consumo industrial: Fábricas o empresas que utilizan grandes motores, equipos que demandan gran cantidad de energía como maquinaria pesada, etc.

1.2 Energía Solar Fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica es la energía que proviene de la radiación solar, que se convierte en energía eléctrica de forma directa mediante generadores fotovoltaicos, el cual está compuesto por módulos fotovoltaicos, que a su vez están compuestos por células fotovoltaicas conectadas entre sí, y que al recibir la radiación solar, genera una diferencia de potencial en sus extremos, proporcionando energía eléctrica en corriente directa DC.

El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador se acoplan en serie o en paralelo para obtener voltajes y corriente deseada. La corriente eléctrica directa generada por los paneles se puede transformar en corriente alterna AC, para ser utilizada en los aparatos eléctricos y electrónicos de uso común.

1.2.1 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.

Ventajas:

- Es una fuente de energía muy amigable con el medio ambiente, su operación no produce ninguna contaminante.
- Los costos de operación son muy bajos.
- El mantenimiento es sencillo y de bajo costo.
- Los módulos tienen un periodo de vida al menos de 25 años.
- Se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas o existentes.
- Se pueden hacer módulos de varios tamaños y características.
- El costo disminuye a medida de que avanza.
- Los paneles fotovoltaicos son silenciosos y limpios.

Desventajas:

- Los costos de instalación requieren de una alta inversión inicial.
- Es una energía intermitente el acceso a la luz solar se reduce a ciertas horas del día.
- La energía se limita, de acuerdo a la capacidad de los paneles instalados.

1.2.2 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.

La energía fotovoltaica está adaptada para varias aplicaciones donde se necesita generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de electricidad, o bien para genera energía a hacia la red eléctrica, se puede decir que los sistemas fotovoltaicos están clasificado en función de sí está o no conectados a la red eléctrica convencional, tales como:

- El sistema aislado a la red eléctrica: requiere de baterías para almacenar la energía producida para su posterior uso, la cual tiene muchas aplicaciones: en el alumbrado público en los pueblos, carteles publicitarios, señalización, faros, entre otros, esta energía como tal se puede después transformarla a corriente alterna mediante un inversor.
- El sistema fotovoltaico de conexión a la red eléctrica: no requieren de baterías, únicamente un inversor de corriente que permite inyectar energía a la red eléctrica acondicionando la potencia, de corriente continua a corriente alterna, con las características de la red de distribución.

1.3 Sistemas fotovoltaicos de conexión a la red eléctrica.

Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, consiste en un generador solar acoplado a un inversor que opere en paralelo con la red eléctrica. El concepto de inyección a la red tiene un amplio margen de aplicaciones desde pequeños sistemas de pocos kilowatt pico (kWp), de potencia instalada hasta centrales de varios mega watt pico (MWp).

El sistema fotovoltaico capta la radiación solar y la transforma a energía eléctrica, en lugar de ser almacenada en baterías como en los sistemas aislados, se utiliza directamente en el consumo o se entrega en la red eléctrica. Estas dos funciones, las realiza un inversor de corriente directa DC a corriente alterna AC especialmente diseñados para esta aplicación.^[2]

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consta de paneles solares, uno o varios inversores o también micros inversores, una unidad de acondicionamiento de energía y un equipo de medición que permita entregar y recibir energía hacia la red. Van desde pequeños sistemas residenciales y comerciales en la azotea hasta una capacidad de potencia instalada de 5MW. A diferencia de los sistemas de energías independientes, un sistema conectado a la red rara vez incluye una solución de batería integrada., ya que la compra y mantenimientos de estas son muy costosos. Cuando las condiciones son las adecuadas, el sistema fotovoltaico conectado a la red suministra el excedente de energía generada, más allá del consumo de la carga conectada a la red pública.

² (O. Perpiñán, A. Colmenar, (2012), Diseños de sistemas fotovoltaicos, pag.15).

Los elementos básicos que conforman una instalación solar fotovoltaica con conexión a la red eléctrica, se muestran en la figura 1.



Figura 1: Esquema básico de sistema fotovoltaico de conexión a red.

A continuación, se mostrarán los 2 diferentes casos que se pueden presentar en una instalación solar fotovoltaica con conexión a la red eléctrica, se muestra en la figura 2.

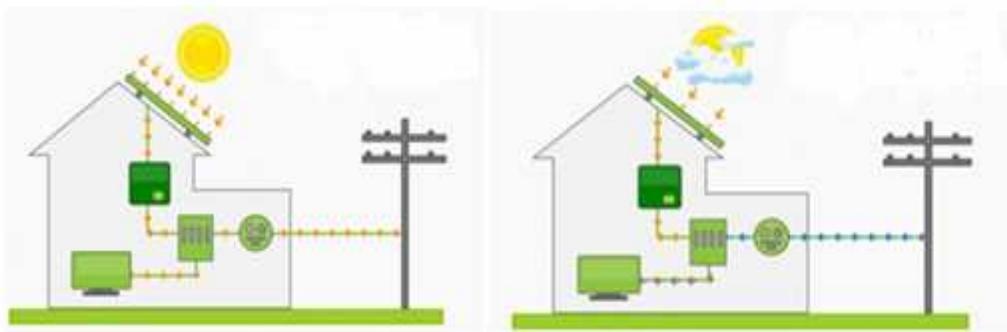


Figura 2: Casos de una instalación fotovoltaica conexión a red.

1.3.1 Generador fotovoltaico.

Un generador fotovoltaico (FV) está compuesto por uno varios paneles solares fotovoltaico y este a su vez formado por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz solar, llamados fotones. Algunos de los fotones de luz que provienen de la radiación solar impactan sobre la superficie del panel fotovoltaico penetrando en él, y siendo absorbidas por materiales semiconductores. Los electrones contenidos en el panel fotovoltaico son golpeados por los fotones de luz, liberando a los átomos a los que estaban confinados originalmente, esto permite posteriormente circular a través de un material conductor y producir electricidad. La célula solar está basada en el material de silicio, el cual se extrae de la arena común (SiO_2).

Para la creación de las células fotovoltaicas intervienen seis procesos principales hasta obtener el módulo solar capaz de proporcionar energía eléctrica:

- Extracción del oxígeno de la arena para obtener silicio.
- Purificación del silicio.
- Crecimiento.
- Corte para obtener obleas de silicio.
- Formación de la célula.
- Encapsulado de células para formar el panel fotovoltaico.

Las células solares de silicio, se pueden fabricar mediante diferentes tecnologías y procedimientos para conseguir determinados objetivos de rendimiento, de condiciones físicas, tales como la flexibilidad, rendimiento y el espesor.^[3]

³(Castejón Agustín, Santamaría Germán, Instalaciones solares fotovoltaicas, editorial editex, Madrid España, pág. 27).

Los tipos de módulos solares y su rendimiento se pueden observar en la Tabla 1.

Módulos	Silicio	Rendimiento directo	Características
	Monocristalino	15 - 18 %	1. Cristal único. 2. Buen rendimiento. 3. Color azul homogéneo
	Policristalino	12 - 14 %	2. Precio inferior que el monocristalino. 3. Diferentes tonalidades de azul.
	Amorfo	< 10 %	1. Capa delgada 2. Células flexibles en láminas. 3. Color marrón homogéneo.

Tabla 1: Tipos de módulos y su rendimiento.

Los paneles proporcionan en su salida de conexión, una tensión continua, y se diseñan para valores concretos de tensión (12V, 24V, 36V, 48V, etc.), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

1.3.1.1 Parámetros de funcionamiento de un generador fotovoltaico.

La característica eléctrica de un panel fotovoltaico está dada por la relación de intensidad de corriente y su tensión ($I - V$) que fluye a través de dicho panel, llamada curva solar. Esta curva depende de la Irradiancia (W/m^2), de la composición espectral, de la radiación solar incidente y de la temperatura de la celda.

Potencia pico: se define como la potencia máxima que un panel fotovoltaico estándar obtiene, si incide sobre él, una radiación solar de $1,000 W/m^2$ a $25^\circ C$ de temperatura.

Efectos de la radiación solar: La calidad de energía eléctrica que entrega el panel fotovoltaico, está dado por el grado de radiación solar que cae sobre él, es decir la potencia que entregue el módulo depende de la intensidad de radiación solar.

Efecto de la temperatura: La temperatura, tiene una influencia importante, al aumentar la temperatura, se incrementa también la corriente, disminuyendo la tensión, teniendo como resultado la disminución de la potencia entre un 0.3 a 0.5% por grado °C.

Todos estos parámetros fundamentales son proporcionados por los fabricantes en las hojas de características de los paneles fotovoltaicos. Debe tenerse en cuenta que éstos parámetros no son constantes, ya que los fabricantes toman como referencia unas condiciones de funcionamiento estándar conocidas como Condiciones Estándar de Medida (CEM) que son unas condiciones de Irradiancia y temperatura determinadas en la celda solar, estas condiciones son:

- Radiación de 1000 W/m².
- Temperatura de célula de 25 °C.

Así pues, si las condiciones a las que se ve sometido el panel son diferentes a las de estándar de medida, las características de los paneles fotovoltaicos cambiarán.

La medida en que cambian los parámetros fundamentales de los paneles es de vital importancia para el diseño de la instalación ya que es muy posible que en condiciones normales de funcionamiento estemos lejos de las condiciones estándar de medida y la instalación puede verse afectada. Para ello es necesario conocer dos parámetros importantes de los paneles:

Coeficiente de temperatura V_{oc} : es el coeficiente de corrección para la tensión máxima que se produce a circuito abierto cuando no existe ninguna carga conectada, este coeficiente muestra como varía la tensión con una variación de temperatura. La tensión de circuito abierto aumenta cuando la temperatura disminuye y disminuye cuando la temperatura aumenta.

Coeficiente de temperatura I_{sc} : es el coeficiente de corrección para la corriente máxima que se produce en el panel cuando no hay conectada ninguna carga y cortocircuitamos los bornes del panel, este coeficiente muestra como varía la intensidad con una variación de la temperatura. La intensidad de cortocircuito aumenta cuando aumenta la temperatura y disminuye cuando disminuye la temperatura.

La potencia es producto de la corriente y del voltaje y el fabricante especifica que la potencia varía -0.5% por cada grado centígrado de variación con respecto a la Temperatura Normal de Operación de la Celda entre $45^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$.

La localización de cualquier punto sobre la superficie terrestre está determinada por un sistema de coordenadas en las que intervienen dos ángulos, que son denominados cenit y azimut.

- Angulo azimut ()

Es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal a la superficie del módulo y meridiano del lugar, su ángulo es 0° para un módulo en orientación sur.

En la figura 3 se muestra el ángulo un panel orientado hacia el sur, donde su ángulo azimut es cero, porque coincide con orientación sur.

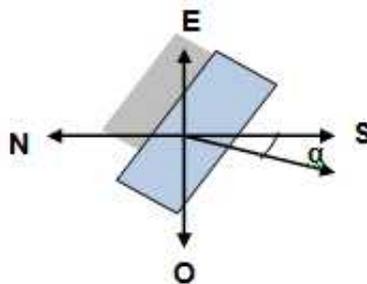


Figura 3: Angulo Azimut.

Angulo cenit o de inclinación (β):

Es el ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal, su valor depende del ángulo de la latitud de su ubicación geográfica. Un panel instalado en el hemisferio norte del planeta se deberá instalar mirando hacia el sur, y un panel instalado en el hemisferio sur del planeta, se deberá colocar mirando hacia el norte.

En la Figura 4 Se muestra un panel fotovoltaico con ángulo de inclinación sur, ubicado en el hemisferio norte.^[4]

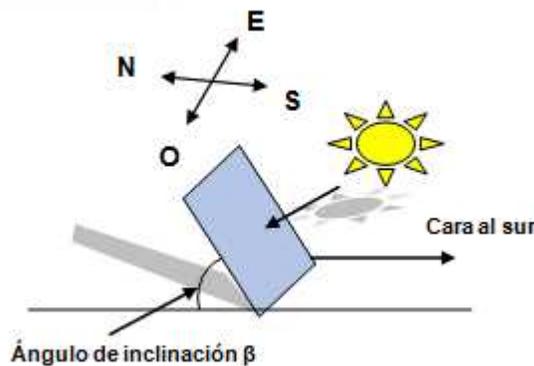


Figura 4: Ángulo de inclinación

Una vez descrita las coordenadas que nos permiten situar el sol en el cielo, hay que situar la superficie del generador fotovoltaico de manera que reciba la mayor cantidad posible de energía solar.

Una superficie recibe la mayor cantidad posible de energía si es perpendicular a la dirección del sol. Aunque hay generadores fotovoltaicos que son capaces de seguir una trayectoria solar, para mayor aprovechamiento solar, lo habitual para no generar mayor demanda de energía en la trayectoria solar, es que la superficie del generador sea de orientación fija.

⁴(Castejón Agustín, Santamaría Germán, Instalaciones solares fotovoltaicas, editorial editex, Madrid España, pág. 27).

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

En la práctica también se utilizan expresiones, basadas en la experiencia y la observación, que proporcionan la inclinación óptima en función del periodo del tiempo y el uso que se le va a dar al generador fotovoltaico.

También es necesario conocer la cantidad de radiación e Irradiancia para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

Irradiancia: Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega a la superficie de la tierra medida como una potencia instantánea por unidad de superficie se mide en W/m^2 , en condiciones estándar la Irradiancia es de $1,000 \text{ Watts}/m^2$.

Irradiación: Es la cantidad de Irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie, se suele medir en Wh/m^2 o unidades equivalentes.

1.3.1.2 Hora solar pico (HPS).

La cual se define como el número de horas en que se dispone una hipotética Irradiancia de $1,000 \text{ w}/m^2$. Es decir una hora solar pico "HPS" equivalente a $1kw/m^2$, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol en paquetes de 1 hora de $1,000 \text{ watts}/m^2$. Se puede conocer la irradiación solar diaria promedio, según la latitud, longitud y elevación de un lugar, este dato se puede conseguir en la página de meteorología nacional o en la página de la nasa. En Anexo 1. Se detalla las condiciones meteorológicas de acuerdo a la latitud y longitud en Managua.

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaicos no siempre satisface los requisitos de un sistema; es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores los adecuados.

Siempre que se agrupen módulos fotovoltaicos, se debe cumplir la condición que sean iguales, ésta igualdad implica que tengan las mismas características y además que sean del mismo fabricante.

Se pueden realizar tres tipos de conexión en función de las necesidades:

- Conexión en serie: Eleva la tensión del generador.
- Conexión en paralelo: Eleva la intensidad del generador.
- Conexión serie/paralelo: Eleva la tensión e intensidad del generador.

Las aplicaciones principales donde se instalan estos sistemas son:

- Tejados en viviendas, integración en edificios, en los que el generador, está físicamente situada en un edificio o vivienda que habitualmente se encuentra en un entorno urbano.
- Plantas de generación de energía (Centrales fotovoltaicas), en la que la instalación fotovoltaica funciona como una central convencional de generación de energía, en el sentido de que inyecta toda la producción eléctrica a la red.

1.3.1.3 Protección en el sistema fotovoltaico.

Las protecciones pueden ser de tipo preventivo para eliminar las posibles causas de falla; o pueden estar diseñadas para detectar y eliminar fallas en caso que las causas sean difíciles de eliminar como las descargas atmosféricas.^[5]

- Diodos de paso (Bypass): Protege a los módulos de posibles “puntos calientes” debido a efectos de “sombreado” por basura, aves, celdas dañadas o defectuosas, por seguridad se usan uno o dos por cada módulo dependiendo de su capacidad.

⁵(López Ayala Iñigo (2008), “Se debe instalar protecciones en el inversor y que siempre actúe el elemento de protección más cercano a la falla de manera que sólo quede desconectada la zona afectada”).

- Fusibles en el circuito serie: Son una protección de respaldo contra fallas a tierra en caso que algún diodo de bloqueo este en corto, siempre es conveniente instalar fusibles en cada ramal sin importar el número de ellas en paralelo.
- Puesta a tierra de los equipos: Todas las parte metálicas del sistema que no forman parte del circuito (Estructura, gabinete, etc.) deben estar sólidamente conectadas a tierra.
- Protección contra sobre voltaje: El sobre voltaje en el sistema de corriente directa (CD) de un generador (FV) es generado por descargas atmosféricas (Rayos).

1.3.2 Micro inversor.

Un micro inversor solar para paneles solares, se trata de un inversor de reducido tamaño que se encarga de convertir la corriente continua proveniente de los paneles solares en corriente alterna apta para uso domiciliario. Los micro inversores para paneles solares disponen de una tecnología más avanzada que los inversores convencionales, y presentan grandes ventajas en cuanto a su uso en instalaciones solares.

La principal ventaja del micro inversor en autoconsumo solar radica en hacer trabajar a cada módulo en su punto de máxima potencia, a diferencia de los inversores convencionales. Es el denominado efecto “mis match” el cual provoca que la corriente que circula por una serie de módulos está determinada por la corriente que se obtiene del módulo que funciona al más bajo rendimiento, lo que resultara en desaprovechamiento de la instalación. Con el uso de micro inversores no solo evitamos este efecto, sino que se consigue que cada módulo funcione a su máxima potencia de manera independiente.

Otra gran ventaja de los micro inversores para paneles solares es que se minimiza el efecto sombra, de modo que cuando se producen sombras en los paneles, en la totalidad o en parte de este, no ofrecerá rendimiento. El micro inversor permitirá que el rendimiento del sistema fotovoltaico no se vea prácticamente afectado, como ocurre en el caso de los inversores normales. Por último, cabe destacar también la gran durabilidad de los micros inversores, entorno a los 20 años, por lo que se puede asegurar que no será necesario el cambio de un nuevo inversor a lo largo de la instalación de auto consumo solar. En la figura 5. Se observa el esquema de conexión de un micro inversor.

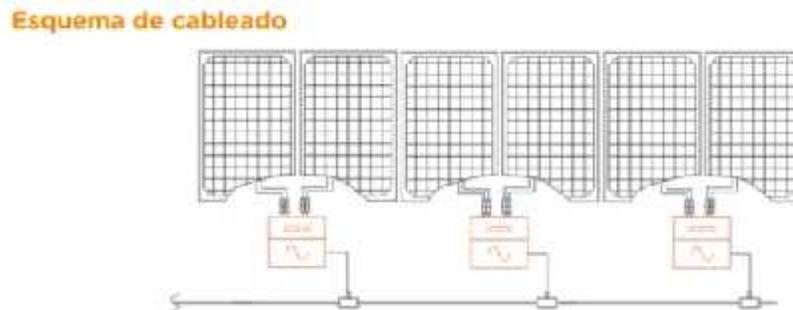


Figura 5: Esquema de conexión de un micro inversor.

1.3.3 Red de distribución eléctrica.

Una red eléctrica, es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores. Consiste de tres componentes principales, las plantas generadoras que producen electricidad de combustibles fósiles (carbón, gas natural, biomasa) o combustibles no fósiles (eólica, solar, nuclear, hidráulica); Las líneas de transmisión que llevan la electricidad de las plantas generadoras a los centros de demanda y los transformadores reducen el voltaje para que las líneas de distribución puedan entregarle energía al consumidor final.

La tarifa eléctrica en el sector residencial, es de baja tensión (120/240V) y a este sector se le aplica un cobro conforme a su tarifa correspondiente (T0), donde la energía es cobrada de acuerdo al consumo, pero a medida que se consume más, el monto por cada kWh es más alto, adicionalmente al cobro neto de la factura, se le añaden los recargos de la ley (alumbrado público, comercialización, etc.), y este monto total se le agregará el 1% para el INE.

Sin embargo si el consumo neto en la factura residencial es menor o igual a 150kwh al mes, se aplica una tarifa social o subsidio, asimismo se aplica los recargos de ley (alumbrado público, comercialización) y adicionalmente a este monto con tarifa social se le cobra el 1% para el INE, en el cual se reduce el monto y tarifa por debajo de la tarifa T0. En Anexo 2 Se muestran los pliegos tarifarios del mes de septiembre del 2019 en tarifa T0 y en Anexo 3. Se muestran los pliegos tarifarios del mes de septiembre del 2019 en tarifa social.

Por ejemplo los primeros 25kwh de consumo con la tarifa T0 su costo por kWh es de C\$ 2.56 el kWh y si su consumo mensual baja a 150 kWh, aplica a un tasa de subsidio y los primeros 25 kWh lo cobran a C\$ 1.20, lo cual representa más de la mitad del ahorro con subsidio.

1.3.4 Estructura de soporte para los paneles fotovoltaicos.

Una parte importante de un sistema de generación solar, es la estructura de soporte de los paneles, la cual asegura que los paneles puedan colocarse con el ángulo de inclinación correcto en dirección al sol y brinden seguridad a la instalación.

El conjunto constituido por la estructura de soporte y los paneles deberá ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Soportar vientos fuertes de 100 hasta 150 km/h.
- El material debe ser resistente a la corrosión. Los mejores resultados son los obtenidos con acero galvanizado y aluminio anodizado.

- No debe proyectar sombras al generador fotovoltaico.
- Todo el soporte deberá estar conectado a una tierra común.

Para construcción de las estructuras normalmente se emplean aluminio o acero inoxidable y en algunas estructuras prefabricadas se usa fibra de vidrio, para la tornillería y otros elementos de fijación se deben usar acero inoxidable.

Existe una amplia variedad de estructuras de soporte disponibles, desde aquéllas que se pueden montar sin requerir personal especializado hasta estructuras hechas a la medida, para sistemas solares más grandes.

Sin embargo se construye en dependencia del lugar donde se instalará el sistema solar, existen 3 tipos:

- Estructura sobre suelo:

Se emplea en generadores con muchos módulos fotovoltaicos, presenta la ventaja de la facilidad de montaje por su accesibilidad además de permitir estructuras robustas y resistentes. Este tipo de estructuras no es adecuado para lugares con nevadas frecuentes que pueden tapar parcialmente la superficie inferior del generador.

- Estructura sobre mástil:

Se emplea en generadores pequeños de poca superficie (uno o dos módulos) y en instalaciones que necesitan por su función un poste o mástil, como en antenas repetidoras, faroles, etc.

- Estructura sobre tejado o cubierta:

Si se dispone de un tejado horizontal, la instalación es muy sencilla, siendo similar a la instalación sobre suelo, si la instalación es sobre un tejado inclinado, se debe situar el plano del generador paralelo, a la pendiente del tejado para facilitar el uso de los rieles en el montaje de los módulos.^[6]

En la figura 6 se observan los tres tipos de estructuras posibles para paneles fotovoltaicos.



Figura 6: Tipos de estructuras.

⁶(Castejón Agustín, Santamaría Germán, Instalaciones solares fotovoltaica, Tipos de estructura, pág. 156).

1.4 Indicadores financieros VAN TIR Y PRI.

1.4.1 Valor Actual Neto (VAN).

Es un indicador financiero que mide los flujos de efectivos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

El flujo de efectivo o flujo de caja es el estado financiero conformado por un documento que muestra los flujos de ingresos y egresos de efectivo (dinero en efectivo) que ha tenido una empresa durante un periodo de tiempo determinado.

$VAN > 0$ el proyecto es rentable.

$VAN = 0$ el proyecto es rentable también, porque ya está incorporado ganancia de la tasa de descuento.

$VAN < 0$ el proyecto no es rentable.

1.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).

Se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado. La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El criterio de selección será el siguiente donde "k" es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado.

Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo.

Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse.

1.4.3 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

1.4.4 Relación costo beneficio (R-B/C).

Es el índice neto de rentabilidad que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales de un proyecto, está dada por la siguiente relación

$$B/C = VAI / VAC$$

Según el análisis de costo-beneficio, un proyecto será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

2. Análisis y presentación de resultados.

2.1 Métodos y materiales.

En este capítulo, se presenta el trabajo final, en el que se detalla el proceso realizado para el diseño y construcción del sistema de generación distribuida con paneles fotovoltaicos para uso domiciliario. Se utilizó el tipo de investigación de estudio de caso, que involucra aspectos descriptivos y explicativos, utilizando información cualitativa y cuantitativa.

Asimismo el trabajo está orientado a la investigación aplicada, donde se aplicó conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera de ingeniería eléctrica, para brindar una solución eficiente y práctica al problema descrito en el documento, asimismo el trabajo se desarrolló a partir de investigación existente básica y aplicada en el campo de la energía solar fotovoltaica.^[7]

⁷(Bernal, Cesar A, Metodología de la investigación, 3er edición, pagina 115-117).

Para el dimensionamiento del estudio del sistema de generación distribuida, se utilizarán cuatro módulos fotovoltaicos de 280 watt cada uno, sumando un total de 1120 Watt para uso domiciliario, al implementar este sistema es necesario conocer tres datos fundamentales:

- La cantidad de energía que se consume en la vivienda, ubicada en el barrio Monseñor Lezcano, Managua.
- La cantidad de horas pico solar (HPS) o radiación solar en el sitio.
- La tecnología existente en el mercado local.

El trabajo inicia con el censo de carga de los equipos que requieren electricidad en la vivienda, determinando la potencia, las horas de funcionamiento de energía eléctrica, para conocer el total del consumo energético únicamente durante el día (De 6:00 am a 6:00 pm).

Posteriormente, se determinará el nivel de radiación solar y la temperatura en el área donde se encuentra ubicada la vivienda seleccionada, a través de una página web de la NASA, llamada: Data Access Viewer. Y finalmente se diseña el sistema de generación distribuida con paneles fotovoltaicos en función de las tecnologías existentes en el mercado local.

2.2 Cálculo económico.

El cálculo económico es el conjunto de criterios y operaciones que en una economía dada sirven tanto para calcular los precios de los bienes como la asignación de los recursos, a continuación se detalla el procedimiento realizado:

- Se registran las kWh de consumo y costo mensual, (antes y después de instalar el sistema), A través de una gráfica de historial de consumo que se adquiere de un sistema llamado SGC (Sistema de Gestión Comercial), utilizado en la empresa Disnorte-Dissur.

- Se compara y se calcula el costo de la tarifa por los kWh consumidos del historial de consumo (Tarifa T0 y tarifa social).
- Se separan los costos de las dos diferentes tarifas, tomando el ahorro en la tarifa social.
- Calcular los kWh generados por el sistema fotovoltaico tomando en cuenta las condiciones meteorológicas, como las HPS y la eficiencia del sistema.
- Al obtener los kWh generados por el sistema fotovoltaico se multiplica por el costo de la tarifa y por tasa de cambio del dólar.
- El ahorro resultante es la suma de los kWh generados por el sistema más el descuento de tarifa social que se aplica a la factura de consumos menor a 150 kWh al mes.

Censo de carga en la vivienda.

El Censo carga de un inmueble es una recopilación de datos de la placa de los equipos consumidores de energía eléctrica. Los datos a obtener pueden ser: Nombre del equipo, Marca, Modelo, Voltaje, Corriente, Potencia y las horas de uso al día.

Condiciones meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas influyen en el funcionamiento de un sistema fotovoltaico. La radiación solar incidente y la temperatura afectan directamente a la tensión, intensidad y potencia generada por la misma y es conveniente saber cómo afectan estas condiciones en el comportamiento de una instalación solar.

La información de las variables meteorológicas se obtienen del sitio web: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> La variable Radiación Incidente Promedio Mensual en una superficie inclinada hacia el Ecuador se mide en unidades de kWh/m²/día, indica las horas pico de sol y se define como el tiempo en horas de una hipotética Irradiancia solar constante de 1000 W/m².

Tecnología disponible.

Se cotizaron los equipos a utilizar en el mercado con proveedores locales y proveedores fuera del país, ya que no se encontraron las características técnicas deseadas para el sistema. Se identificaron los paneles solares y demás equipos. Más adelante se detallaran las características de los paneles solares fotovoltaicos, el micro inversor y medidor bidireccional que fueron seleccionados.

Paneles solares.

Se buscaron diferentes tipos de paneles solares con proveedores locales, y se eligió el panel con la máxima potencia cotizada en los diferentes locales que ofrecen y venden equipos para la instalación de un sistema solar fotovoltaico, las características generales del panel fotovoltaico elegido se muestra en la tabla 2.

Las principales características eléctricas de los paneles solares, medidas en condiciones estándar (25° C, AM 1.5, 1000 w/m²). Las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico seleccionado, se pueden ver en Anexo 4.

Características del panel fotovoltaico	
Potencia máxima (P _{max})	230W
Voltaje de potencia máxima (V _{mp})	31.2V
Corriente de potencia máxima (I _{mp})	8.98A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	37.3V
Corriente de circuito abierto (I _{sc})	9.7A
Rango fusible protección	15A
NOCT	45 ± 2°C
Sistema de voltaje máximo	1500V
Dimensiones	1640x992x40 mm
STC	Irradiancia 1000W/m ² ; Temperatura 25°C ; Masa de aire 1.5
Eficiencia del módulo	17.21 %

Tabla 2: Características del panel fotovoltaico.

Micro inversor.

Se cotizaron micro inversores de corriente DC/AC y una potencia de 600 Watt en tiendas de proveedores locales, sin embargo no se encontró con esas características, por tal motivo se buscó con proveedores fuera del país, que ofreciera las características deseadas.

El micro inversor seleccionado es de 600 watt de potencia, para cubrir la potencia producida por ambos paneles. Las especificaciones técnicas del micro inversor seleccionado se pueden ver en [Anexo 5](#). Las características generales del micro inversor seleccionado se muestran en la tabla 3.

Características del micro inversor	
Potencia de módulo PV recomendada	200Wp - 365Wp
Rango de operación de voltaje	16V - 56V
Voltaje de entrada máximo	55V
Corriente de entrada máxima	12A
Potencia máxima de salida AC	600VA
Voltaje de salida nominal	240V
Corriente de salida máxima	2.28A
Frecuencia de salida	60-Hz
Factor de potencia ajustable	0.8 - 0.9
Protección máxima de sobrecorriente de salida	6.3A
Eficiencia máxima	96.5 %

Tabla 3: Características del micro inversor.

2.3 Procedimiento para el dimensionamiento del sistema.

2.3.1 Cálculo del número de módulos solares.

Para calcular el número de módulos o paneles solares es necesario conocer el consumo diario de energía a partir de un censo de carga del consumo diario de energía. Los paneles tienen que suplir esa cantidad de energía más las pérdidas que se tienen al convertir la energía DC en AC.

Para garantizar que los paneles generen la energía necesaria se deben considerar como la temperatura influye en la producción de energía, para ello se harán los siguientes ajustes.

Ajustes por efectos de temperatura:

- Temperatura de operación del módulo solar = temperatura de diseño + 15°C.
- Caída de eficiencia de temperatura = (temperatura de operación del módulo solar 25°C) x (0.5%).
- Eficiencia por temperatura = (100%) – (Caída de eficiencia de temperatura).

➤ Cálculo de la eficiencia del sistema:

- Eficiencia del sistema = (Eficiencia del cableado) x (Eficiencia del inversor) x (Eficiencia por temperatura).

A) Para calcular la energía generada por los módulos fotovoltaicos se utiliza la siguiente expresión:

$$E_p = MPPT * HPS * PR$$

ec.1

Donde:

E_p : Energía generada por el panel fotovoltaico.

MPPT: Potencia pico del módulo en condiciones estándar STC.

HPS: Son las horas solares pico promedio calculadas a partir de las radiaciones solares disponible según posición geográfica.

PR: Factor global de funcionamiento del panel fotovoltaico.

B) Para calcular el número total de módulos fotovoltaicos a utilizar para suplir el consumo diario promedio de una vivienda se utiliza la siguiente expresión:

$$NT = \frac{Lmd}{MPPT \cdot HPS \cdot PR}$$

ec.2

Donde:

NT: Número total de módulos a utilizar.

Lmd: Consumo medio diario.

MPPT: Potencia pico del módulo en condiciones estándar STC.

HPS: Son las horas solares pico promedio calculadas a partir de las radiaciones solares disponible según posición geográfica.

PR: Factor global de funcionamiento es del 0.90.

2.3.2 Cálculo de la potencia del inversor.

El cálculo de la potencia del micro inversor está dada por la capacidad en potencia que generen los paneles fotovoltaicos y aplicarle a ese valor un 20% de margen por seguridad por los arranques de pico que pueden tener algunos electrodomésticos en la vivienda.

Los micros inversores se han convertido en muy poco tiempo en una alternativa real a los inversores tradicionales, principalmente en aquellos mercados donde las instalaciones fotovoltaicas residenciales y comerciales de pequeña potencia han tenido un crecimiento más acelerado.

Los micro inversores hacen trabajar a cada módulo en su punto de máximo de potencia minimizando el famoso efecto mis-match, del mismo modo el efecto sombra tampoco afecta el rendimiento del sistema fotovoltaico utilizando micro inversores en comparación a un inversor tradicional.

La potencia nominal del inversor (P_{inv}) deberá ser calculada por la siguiente expresión:

$$P_{inv} = 1.2 * PAC$$

ec.3

Donde:

P_{inv} : Potencia del micro inversor.

Pac : Potencia generada por los módulos fotovoltaicos.

Se debe de tomar en cuenta aplicar un margen de seguridad de seguridad del 20%.

2.3.3 Cálculo para el cableado.

Para el cálculo de las secciones de los cables conductores y de las protecciones se distinguirá entre la parte de la instalación que funciona en corriente directa (DC) y la parte de la instalación que funciona en corriente alterna (AC).

- A) Para el cálculo de la sección de cable (S) en los distintos tramos donde circula la corriente directa (DC), y que comprende desde la salida de bornes en la caja de conexión de los módulos fotovoltaicos hasta la entrada en el inversor, se empleará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * C}$$

ec.4

Donde:

S: es la sección del cable conductor (mm²).

L: es la longitud del cable conductor en ese tramo (m).

I: es la intensidad de corriente máxima que circula por el conductor (A).

V: es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, deberá ser en los conductores de corriente continua como máximo del 1.5%.

C: es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad es de 54 (m/ ·mm²).

El tramo que va de los paneles fotovoltaicos hasta la entrada del inversor se compondrá de dos conductores, uno positivo y otro negativo, que serán de igual sección a la que resulte del cálculo de aplicar la fórmula anterior.

B) Para instalación en corriente alterna (AC):

De la salida del inversor hasta la entrada al panel eléctrico, el tramo es de tipo monofásico y se van a componer de dos conductores (fase y neutro), además el conductor debe ser de cobre y se debe instalar un aislante en PVC.

Para el cálculo de la sección (S) de los conductores activos en los tramos de corriente alterna monofásica, se empleará la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * P * L}{\Delta V * C * V}$$

ec.5

Donde:

S: es la sección del cable conductor (mm^2).

P: es la potencia máxima que vaya a transportar el cable (W).

L: es la longitud del cable conductor en ese tramo (m).

V: es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, que deberá ser en los conductores de alterna como máximo del 5%.

C: es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad a 30°C es de $54 \text{ (m/} \cdot \text{mm}^2\text{)}$.

V: es la tensión de línea de la red interior de la vivienda (V).

2.4 Memoria de cálculo.

En esta parte del trabajo se detallará en qué consiste el proyecto, puntualizando el emplazamiento, haciendo los cálculos necesarios para la selección de los equipos y explicando las decisiones tomadas.

2.4.1 Ubicación del sistema fotovoltaico.

El sistema de generación distribuida con cuatro paneles fotovoltaicos de 280 Watt para uso domiciliario, se encuentra instalado en la vivienda casa número, M-5 del barrio Monseñor Lezcano, en el departamento de Managua.

El terreno donde se encontrara localizado el sistema fotovoltaico está en las coordenadas:

Latitud: 12,148217

Longitud: -86,301307

2.4.2 Estimación de consumo energético (Censo de carga).

En la vivienda se realizó censo de carga de consumo de acuerdo a los diferentes aparatos utilizados y la cantidad de horas funcionamiento únicamente durante el día.

El cálculo de la energía consumida, durante el día (Wh/día) en la vivienda, se debe a la suma de las potencias en watts (W) de cada uno de los equipos y cargas que se dispone de: Luminarias, televisores, router, refrigeradora, etc. La carga total multiplicado por el número de horas de su utilización respectivamente (h/día.).^[8]

En la tabla 4. Se puede observar el consumo promedio únicamente durante el día.

Tabla 4: Consumo de la vivienda únicamente durante el día.

Tabla de consumo unicamente durante el día					
Cantidad	Descripción	Potencia nominal	Horas/días	Día/semana	Energía diaria promedio
C		P	H	D	WhP=(C*P*H*D)/7
2	Lampara tubular fluorescente	20	1	7	40
1	TV	115	3	5	246
1	Alcario	60	2	5	86
1	Router	25	7	5	214
1	Refrigeradora	130	12	7	1560
Potencia instalada (W)		350	Total Wh promedio		2146
			Total kWh promedio		2,1

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

Por tanto, para la estimación de consumo se utiliza la ecuación 6.

$$Lmd = Ldc + \frac{Lac}{\eta_{inv}}$$

ec.6

⁸(Lorenzo José Alonso, Boletín solar fotovoltaica, Sunfields, Caruña, España, Europa 2012).

Dónde:

Lmd: Consumo de energía medio diario (Wh/día).

Ldc: Carga en corriente continua (Ah/día).

Lac: Carga en corriente alterna (Ah/día).

inv: Eficiencia del inversor (En este caso es 96%).

Resolviendo la ecuación 6 se obtiene el consumo de carga necesaria durante el día.

$$Lmd: 0 + \frac{2.1 \text{ kWh}}{0.96} = 2.2 \text{ Kw/h día}$$

La carga real necesaria diaria, a suministrar por el sistema fotovoltaico, es de **2.2 kWh al día**, y a su vez se toma en cuenta las eficiencias y pérdidas de los distintos subsistemas que intervienen en el sistema fotovoltaico.

2.4.3 Condiciones meteorológicas según su ubicación geográfica.

De acuerdo a las coordenadas, la cantidad de energía solar diaria alcanza valores promedio de **5.8 Kwh /m2**. En Anexo 6. Se muestra una tabla completa de las condiciones meteorológicas mensual y la eficiencia total del sistema en dependencia de la temperatura.

Horas solares picos mensuales.

En la Tabla 5. Se muestra valores mensuales de variable Horas Solar Pico y temperatura, para calcular el cálculo mensual de generación.

Tabla 5: Valores mensuales de variables HPS y temperatura.

Valores mensuales de variable Horas Solares Pico y temperatura													
Meses	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Anual
Horas Pico Solar (HSP)	6,6	5,6	5,5	6	5,6	5,8	4,7	5,4	5,2	5,7	6,3	7	5,8
Temperatura (°C)	30	28	26	27	27	27	26	26	26	27	28	29	27

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

Al recibir la radiación solar, la temperatura de la celda aumenta aproximadamente 15° C. Este aumento de temperatura hace que la eficiencia de la celda disminuya 0.5% por cada °C que aumente sobre los 25 °C.

De acuerdo a la información suministrada por el fabricante de los inversores la eficiencia es de 96%. Por criterio de diseño, la máxima caída de voltaje que se permite es del 3%, por lo que la eficiencia del cableado es del 97%.

Eficiencia del sistema.

En la Tabla 6 se muestra la eficiencia mensual del sistema tomando en consideración la eficiencia de los paneles, el inversor y el cableado.

Tabla 6: Eficiencia mensual del sistema.

Calculo de eficiencia del sistema													
Meses	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Anual
Eficiencia por temperatura (%)	94%	96%	98%	97%	96%	96%	98%	97%	97%	96%	95%	95%	96%
Eficiencia del inversor (%)	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Eficiencia del cableado (%)	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%
Eficiencia del sistema (%)	88%	89%	91%	90%	89%	89%	91%	90%	90%	89%	88%	88%	90%

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

El valor promedio de eficiencia del sistema en todo el año es de 90%.

Con la eficiencia calculada, se calcula la potencia en kWh que se requiere para producir la energía requerida.

Una vez conociendo cuanta energía se necesita durante el día y las condiciones meteorológicas de radiación solar disponibles, se procede al cálculo del generador fotovoltaico adecuado.

Cálculos del generador fotovoltaico.

En este punto se necesita conocer el número de paneles solares para generar la energía demandada durante el día, multiplicando la potencia máxima del panel fotovoltaico por las horas solar diarias y por la eficiencia del panel fotovoltaico, la cual se estima con la ecuación 1.

$$E_p = MPPT * HPS * PR$$

ec.1

Donde:

EP: Energía generada por el panel fotovoltaico.

MPPT: Potencia pico del módulo en condiciones estándar STC.

HPS: Son las horas solares pico promedio calculado a partir las radiaciones solares disponible según posición geográfica.

PR: Factor global de funcionamiento del panel fotovoltaico es de 90%.

Sin embargo en este proyecto, se seleccionaron cuatro paneles fotovoltaicos de 280W cada uno, para generar un total de 1120 W. Por tanto, la energía que producen los paneles instalados aplicando la misma ecuación 1, se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Tabla de cálculos de la energía generada por los módulos.

Cálculo de energía generada por los módulos						
$E_p = MPPT \cdot HPS \cdot PR$	Nº de módulos	Potencia nominal del módulo (STC)	MPPT (W)	HPS (kWh/m ² /día)	PR	Ep (kWh/d)
	1	280	120	5,8	0,90	5,8

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

En un mes los paneles fotovoltaicos producen:

$$E_p \text{ mes} = (6 \text{ kWh/día}) \cdot (30 \text{ días})$$

$$E_p \text{ mes} = 180 \text{ kWh.}$$

Los paneles fotovoltaicos producen un promedio de 6 kWh al día, este dato es en condiciones óptimas en el panel y con la radiación promedio de 5.8 horas al día con una eficiencia del 90% en el sistema.

Para el cálculo de número de total de paneles solares, necesarios para cubrir el consumo diario de 2.6 kWh al día, se debe usar la ecuación 2.

$$NT = \frac{Lmd}{MPPT \cdot HPS \cdot PR}$$

ec.2

Donde:

Lmd: Consumo medio diario.

MPPT: Potencia pico del módulo en condiciones estándar según hoja técnica.

HPS: Son las horas picos solares promedio de los datos meteorológicos.

PR: Factor global de funcionamiento es del 0.90.

Resolviendo la ecuación 2 se obtiene el resultado en la tabla 8.

Tabla 8: Tabla de dimensionamiento de los módulos reales a instalar.

Dimensionamiento de los módulos reales a instalar					
$NT = \frac{Lmd}{MPPT \cdot HPS \cdot PR}$	Lmd	MPPT (W)	HPS (kWh/m ² /día)	PR	NT
		226	280	9.8	0.90

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

Se obtiene que aproximadamente se necesitan **2 paneles fotovoltaicos** para alimentar la carga demandada únicamente durante el día.

A continuación, se muestra en la tabla 9 las características del modulo fotovoltaico a utilizar y la configuración de su arreglo.

Tabla 9: Tabla de las características y arreglos de los módulos.

Características del Modulo Fotovoltaico				
Voltaje (Voc)	Watts Pico (W)	Voltios (mp)	I _{sc} (A)	I _{MP} (A)
37.3	280	31.2	9.7	8.98

Configuración de Modulos Fotovoltaicos				
Modulos en Serie	Modulos en Paralelo	Voltios (mp)	I _{MP} (A)	kW Pico
1	2	31.2	17.96	0.56
		Voltaje (Voc)	I _{sc} (A)	Total de Modulos
		37.3	19.4	2

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

Calculo del micro inversor.

El cálculo del micro inversor depende del requerimiento técnico y eléctrico del generador fotovoltaico como tensiones y corrientes, mínimas y máximas que podrán entregar a la salida del generador fotovoltaico y a su potencia máxima

que en total es de 560 watt por cada dos módulos fotovoltaicos, recordando siempre que se utilizaran cuatro módulos, dos para cada micro inversor.

En base a este valor se determina su capacidad, teniendo en cuenta que debe ser de mayor capacidad y aplicar un margen de seguridad de 20% que el total de consumo, se puede usar la ecuación 3.

$$P_{inv} = 1.2 * PAC$$

ec.3

Donde:

P_{inv}: Potencia del micro inversor.

Pac: Potencia generada por los paneles fotovoltaicos.

Por tanto, la potencia del micro inversor necesaria, aplicando la ecuación 3 se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Tabla de dimensionamiento del micro inversor.

Dimensionamiento del inversor			
$P_{inv} = 1.2 * PAC$	Margen de seguridad	Pac	P _{inv}
	1.2	560	672

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

El micro inversor seleccionado es de 600W, debido a que los micros inversores, que normalmente se utilizan en sistemas de interconexión a red traen integrado un “regulador mppt” la función de este regulador es hacer que la potencia de entrada sea la misma potencia de salida del micro inversor.

El micro inversor está aterrizado a tierra y trae integrado un sistema de protección, tales como fusible en la entrada de DC, ajuste de variación de voltaje, corriente y frecuencia en la salida, en caso de que los paneles generen un voltaje o corriente por encima de su valor máximo. Es importante mencionar que para este proyecto se van a utilizar dos micros inversores uno por cada dos módulos de los cuatro en total.

Calculo del cableado eléctrico.

Para realizar un correcto cálculo de cableado, se debe elaborar un diagrama eléctrico unifilar, en donde se representan todas las partes que componen un sistema eléctrico de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr así una mejor visualización del sistema de la forma más sencilla. El cable utilizado debe ser apropiado, hay por lo menos tres condiciones mínimas que deben cumplir los cables:

- Deben ser aptos para el ambiente en el que se instalan (para intemperie o para uso en interiores).
- Deben tener la capacidad requerida para soportar la corriente máxima que fluye por ellos (no sobrepasar el límite de su capacidad).
- La caída de voltaje en la línea debe ser inferior a 5% (o mejor, inferior a 3%).

Para obtener la sección adecuada de los conductores empleados para transportar electricidad con seguridad y para dimensionarlo se aplican tres criterios básicos:

Existen varias formas de calcular la sección mínima del conductor para diferentes tipos de corrientes ^[9], pero en este caso particular se calculará únicamente para corriente continua y corriente alterna monofásica, debido a que es para uso residencial.

⁹(Blanco Israel, Alonso Jaime, Instalación solar fotovoltaica de conexión a red sobre azotea de una nave industrial, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III, Madrid España).

En la figura 7 se puede observar los tramos de cableado en AC y DC.

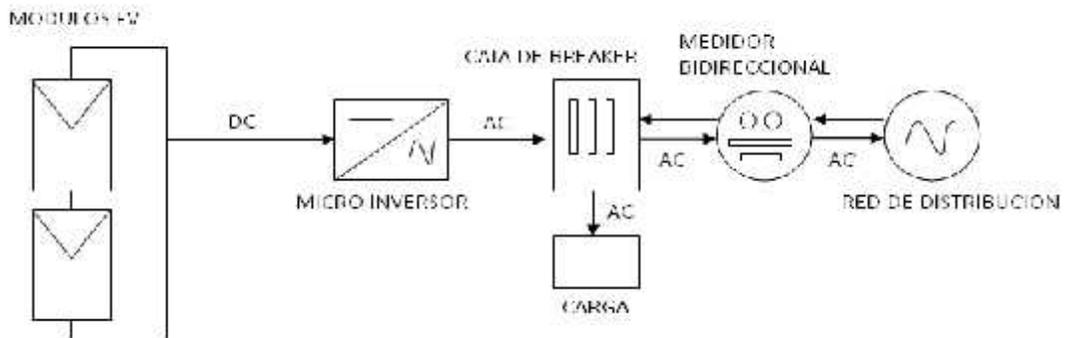


Figura 7: Diagrama del cableado eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del cableado eléctrico se utilizarán dos ecuaciones diferentes pero similares de caída de tensión, una se utiliza para DC y otra para AC. A continuación, se mostrarán las ecuaciones a utilizar para los dos tipos de corriente eléctrica.

- Ecuación para el cableado eléctrico en DC:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * C}$$

ec.4

Donde:

S: es la sección del cable conductor (mm²).

L: es la longitud del cable conductor en ese tramo (m).

I: es la intensidad de corriente máxima que circula por el conductor (A).

V: es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, deberá ser en los conductores de corriente continua como máximo del 1.5%.

C: es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad es de 54 (m/ ·mm²).

- Ecuación para el cableado eléctrico en AC:

$$S = \frac{2 * P * L}{\Delta V * C * V}$$

ec.5

S: es la sección del cable conductor (mm²).

P: es la potencia máxima que vaya a transportar el cable (W).

L: es la longitud del cable conductor en ese tramo (m).

V: es la caída de tensión máxima permitida en los conductores, que deberá ser en los conductores de alterna como máximo del 5%.

C: es la conductividad del material que forma el conductor, en este caso cobre, cuya conductividad a 30°C es de 54 (m/ ·mm²).

V: es la tensión de línea de la red interior de la vivienda (V).

Por lo tanto, utilizando la ecuación 4 y 5 para el cálculo del cableado eléctrico del sistema, resultaría de la siguiente manera mostrado en la tabla 11 y 12.

Tabla 11: Tabla de cableado eléctrico DC.

Ec.4

Dimensionamiento de cableado DC						
$S = \frac{2 * P * L}{\Delta V * C * V}$	Constante	Longitud del tramo (m)	Intensidad de corriente (A)	Caída de tensión(%)	Conductividad del cobre (m/0°mm ²)	Sección del conductor (mm ²)
	2	10	20	1.5	54	0.8

Tabla 12: Tabla de cableado eléctrico AC.

Ec.5

Dimensionamiento de cableado AC							
$S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{AV \cdot C \cdot V}$	Constante	Potencia transportada (W)	Longitud del tramo (m)	Coeficiente de tensión (%)	Voltaje del sistema (V)	Conductividad del cobre (m/Ω ² mm ²)	Sección del conductor (mm ²)
	2	350	30	5	120	54	0,6

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

De acuerdo al resultado de la ecuación 4 según la tabla 13, el calibre del conductor para el cableado en DC que se debe elegir es el calibre #10 AWG y la ecuación 5 para el cableado en AC el calibre que se debe elegir será #12 AWG, ya que la normativa utilizada en Nicaragua (CIEN y NEC), establecen que el calibre mínimo a utilizar en una instalación eléctrica domiciliar debe ser numero 12 AWG, por tal razón no se debe elegir un calibre inferior.

Tabla 13: Tabla AWG según la sección.

Sección AWG	Sección mm ²	Corriente (Amperios)
20	0,5	3
18	1	7
16	1,5	10
14	2,5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Elección del tipo de estructura de soporte.

Se diseñó una estructura de manera que los paneles fotovoltaicos quedan ensamblados adecuadamente, en el cual se provisionó ½ cm de profundo y ½ cm de largo y ½ cm ancho. Para formar el ángulo de 12° de inclinación se utilizaron varillas roscada de acerró galvanizado.

La orientación de los paneles debido a que Nicaragua, se encuentra al norte del ecuador, para aprovechar la máxima radiación posible los paneles solares fotovoltaicos deben estar orientados 12° hacia el sur.

Para conocer la altura que debe tener el ángulo de 12° inclinación se debe utilizar la ecuación 7.

$$H_{\text{colector}} = \text{largo de colector} * \text{sen}(12^\circ)$$

ec.7

La estructura a utilizar empleando la ecuación 7 se muestra en la tabla 14.

Elección del tipo de estructura de soporte
$H_{\text{modulo}} = \text{largo del modulo} * \text{sen}(12^\circ)$
$H_{\text{modulo}} = 1,64\text{m} * \text{sen}(12^\circ) = 0,340\text{m}$

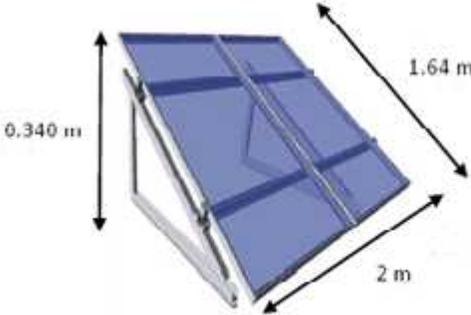


Tabla 14: Tabla de dimensionamiento del soporte.

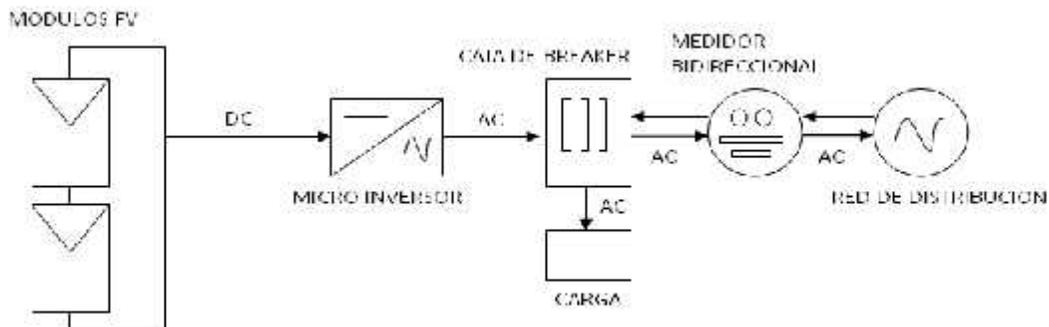
Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

2.4.4 Descripción general del sistema implementado.

El sistema de generación distribuida con paneles fotovoltaicos de 1120 Watt para uso domiciliario lo integran cuatro paneles fotovoltaicos de 280 watt cada uno, con conexión en paralelo; los cuales en sus terminales de conexión positivo y negativo se conecta a la entrada de los terminales positivo y negativo del micro inversor de corriente DC/AC el cual este se conecta al medidor bidireccional y finalmente con la red eléctrica, este sistema permite generar energía eléctrica a la vivienda y a la vez inyectar la energía excedente a la red de distribución.

En la figura 8, se puede observar el diagrama general del sistema ahorrador de energía eléctrica para uso domiciliario.

Figura 8: Diagrama general del sistema de generación distribuida.



Es muy importante mencionar que en el sistema de generación distribuida para uso domiciliario se va a utilizar un medidor bidireccional marca: EDM, modelo: MK10D. Este medidor es utilizado hoy en día por la empresa Disnorte-Dissur específicamente para la generación distribuida para aquellos clientes que se convierten en productor-consumidor.

Este dispositivo de medición una de sus características es que posee dos canales independientes, uno de los canales mide la energía consumida de la vivienda a través de la red de distribución y el otro canal mide la energía excedente generada por los paneles solares que es inyectada a la red de distribución.

Otra de sus características es que este medidor incorpora una función que permite la desconexión y reconexión del servicio eléctrico.

En la figura 9, se puede observar el medidor bidireccional a utilizarse en el sistema de generación distribuida para uso domiciliario. En [Anexo 7](#) se muestran las especificaciones técnicas del equipo de medición.

Figura 9: Medidor bidireccional EDM I Mk10D.



2.5 Implementación de la “Normativa de Generación Distribuida Renovable para Autoconsumo”.

Esta Normativa es aplicable a toda persona natural o jurídica que tenga o proyecte la instalación y conexión al sistema de distribución, en baja o media tensión, de pequeñas instalaciones de generación destinadas al Auto-Consumo, cuya Potencia Instalada sea menor a los 5 MW y reúna las condiciones para ser Cliente de la Empresa Distribuidora.

Se exceptúa de la aplicación de esta Normativa a las instalaciones aisladas y grupos de generación móviles o de uso intermitentes utilizados exclusivamente por situaciones de emergencia, caso fortuito o eventualmente por la interrupción de alimentación de energía eléctrica de la red eléctrica.

Los GDR (Generador Distribuido Renovable) se clasificarán por Potencia Instalada y voltaje de conexión a la red de distribución según el siguiente detalle y caracterización:

- BT1, instalaciones hasta 2 kW.
 - a) Puede instalar cualquier Cliente conectado a BT.
 - b) Los equipos de generación están exclusivamente conectados en el Punto de Suministro.
 - c) Potencia demandada del Cliente ante la ED es menor o igual a 2.0 kW.

- BT2, instalaciones de más de 2 kW.
 - a) Puede instalar cualquier Cliente conectado a BT.
 - b) Los equipos de generación están exclusivamente conectados aguas abajo del Punto de Suministro.
 - c) La potencia demandada del Cliente ante la ED es más de 2.0 kw.

Trámite de solicitud de interconexión.

Procedimiento de Solicitudes. Para tramitar las solicitudes de interconexión de instalaciones de Generación Distribuida a las redes de la Empresa de Distribución(ED), se seguirá el siguiente procedimiento:

- El interesado en conectar una planta de GDR a la red de distribución deberá informar por escrito su solicitud de conexión a la ED, adjuntando la información compuesta por el formulario de solicitud, características técnicas de la planta de GDRA, según corresponda.
- La Empresa Distribuidora, habiendo aceptado la solicitud de conexión, elaborará el Dictamen de la Factibilidad Operativa, este Dictamen de la Factibilidad Operativa indicará la necesidad o no de la elaboración del Estudio de Impacto a la Red, el cual deberá ser realizado por el GDR mediante consultores especializados y presentado al ED en un plazo máximo de 90 días calendarios.
- Con la aprobación del Estudio de Impacto de Red y cumplidas las obligaciones administrativas señaladas en esta Normativa, la Empresa Distribuidora y el GDR tendrán un plazo de 7 días calendario para firmar el Convenio de Conexión, comprometiéndose hasta ese momento la capacidad de la red. Una vez firmado el Convenio la ED procederá al registro de la central de Generación Distribuida Renovable ante el MEM.
- Con el registro del Convenio de Conexión aprobado y cumplidas las obligaciones administrativas señaladas en esta Normativa, la Empresa Distribuidora y el GDR podrán firmar el Contrato de Compra-Venta de Energía.
- En caso de incumplimiento de los plazos previstos en esta Normativa, el solicitante podrá hacer uso de los derechos establecidos en el Título 7: Procedimiento para Reclamos de la Normativa del Servicio Eléctrico.

Formulario de solicitud de conexión.

El Formulario de Solicitud para la interconexión de un GDR a las redes de la ED deberá contener al menos la siguiente información:

- a) Nombre del proyecto.
- b) Nombre del propietario, razón social o representante.
- c) Dirección de correspondencia, teléfonos (móvil y fijo), correo electrónico, apartado postal.
- d) Número NIS o de expediente de solicitud.
- e) Tipo o fuente primaria renovable de la central de Generación Distribuida. Esta puede ser de una sola fuente (Solar FV o térmica, eólica, hidráulica, etc.) o mixta. El interesado debe describirla con claridad.
- f) Detalle de información técnica contenida en el formulario. Se deberá adjuntar la información técnica indicada en el NGDRA 20 de la presente Normativa. (Solicitud de la Información Técnica del Cliente).
- g) Lugar, fecha de la solicitud, la cual deberá ser firmada por el dueño o representante, debidamente acreditado, del proyecto de Generación Distribuida Renovable.

Solicitud de la Información Técnica del Cliente.

La información técnica incluirá la descripción de las obras a realizar, así como los datos y especificaciones de los equipos a instalar.

- a) Descripción general del proyecto.

La descripción general de la tecnología o fuente primaria de energía que la central empleará, incluyendo la estimación del régimen de generación horario considerando la estacionalidad típica de recurso primario.

b) Cronograma de trabajos e identificación de las obras a realizar.

- BT Menores o iguales a 2 kW: Sin detalle.
- BT Mayores a 2 kW: Descripción de las principales actividades a realizar y duración de las obras y presentación de cronograma en soporte magnético.

c) Ubicación del proyecto.

- BT Menores o iguales a 2 kW: Dirección del proyecto.
- BT Mayores a 2 kW: Dirección del proyecto, Coordenadas UTM y Plano de ubicación. Las coordenadas de proyecto incluirán la ubicación de la planta generación de energía eléctrica con fuente natural y líneas de evacuación de energía.

d) Datos de Potencia y Energía consumida por el cliente.

- BT Menores o iguales a 2 kW: valores de carga que fueron facturados en el último año.
- BT Mayores a 2 kW: valores de carga que fueron facturados en el último año y curva característica de demanda de los últimos 3 meses para clientes no estacionales. Para los suministros estacionales, curva características de carga estacional.

e) Datos de Potencia y Energía a generar.

- BT Menores o iguales a 2 kW: Potencia nominal a instalar y energía horaria estimada.
- BT Mayores a 2 kW: Potencia nominal (kW, kVA) y energía horaria estimada, número de unidades generadoras a instalar, curva de generación prevista mensual y anual (desagregada en Invierno y Verano), energía mensual (kWh/mes) probable a inyectar a la red.

- f) Diagrama unifilar de las instalaciones de generación hasta el punto de interconexión para todos los GDR.

- g) Sistema de Control y Protecciones.
 - BT Menores o iguales a 2 kW: esquema típico de conexionado y datos del fabricante (ficha técnica).
 - BT Mayores a 2 kW: Esquema típico de conexionado y especificaciones técnicas de todos los equipos y componentes del sistema. Diagrama unifilar que contenga datos de los elementos de control, medición y protección.

Estudio de Impacto a la Red.

El Estudio de Impacto a la Red contendrá un análisis de proyecto del generador distribuido renovable (GDR) en escenarios de máxima, media y mínima demanda (correspondiente a bandas horarias de días hábiles, semi-hábiles y feriado), en dos periodos (estaciones) de año, o bajo cualquier régimen operativo que por sus características el GDR tenga mayor impacto en la red y la ED considere que es necesario evaluar. El análisis debe considerar las características del recurso primario (intermitencia de las fuentes renovables), en función del tipo de fuente, estacionalidad, el régimen de consumo del Cliente, entre otros parámetros que serán integrados en los Estudios de Impacto a la Red. En caso que el resultado de estudio determine afectaciones sobre la red, como complemento, el informe deberá describir las alternativas que elimine tales afectaciones.

Convenio de Conexión.

El Convenio de Conexión contendrá como mínimo la siguiente información:

- a) Identificación de las partes, esto es, el GDR y la Empresa Distribuidora.
- b) Objeto.
- c) Potencia Instalada.

- d) Características técnicas del medidor de lectura.
- e) Características técnicas esenciales del equipamiento de generación.
- f) Ubicación del punto de conexión y de la(s) unidad(es) de generación y demás componentes del equipamiento de generación que así lo requieran.
- g) Fecha de conexión del equipamiento de generación.
- h) Causales de término o resolución del contrato de conexión.
- i) Vigencia Mínima de 10 años.
- j) Medio de comunicación acordado para la operación de la planta GDRA, si aplica.
- k) Datos para notificación.
- l) Resolución de Controversias.

La fecha de conexión de la planta de Generación Distribuida se establecerá en el cronograma de obras suministrado por el GDR al momento de hacer la solicitud. En caso de cambios en la fecha de entrada en operación de la Planta, el Cliente deberá notificarlo por escrito a la ED justificando la razón de la demora.

Registro ante el MEM.

Una vez concluido el proceso ante la Empresa Distribuidora, la ED deberá remitir en forma digital al MEM a fin de realizar el registro, la siguiente documentación:

- a) Documentación del proyecto.
- b) Dictamen de Factibilidad Operativa y Estudio de Impacto a la Red (en caso de que éste último haya sido requerido).
- c) Autorización de la ED aceptando la conexión del proyecto a sus redes de distribución.
- d) Copia del Convenio de Conexión.
- e) Copia del Contrato de Compra-Venta de Energía, de existir.

Procedimiento de Conexionado.

- a) Solicitar a la ED la inspección general de las instalaciones y de funcionamiento.
- b) Con la inspección y/o diagnóstico respectivo, la ED remitirá por escrito al titular de GDRA, un informe con los resultados de la inspección de la factibilidad de acceso.
- c) Con los resultados de la inspección favorable, se autorizará el inicio de operación de un GDR.

Rechazo de una solicitud de conexión de GDR.

A) Rechazo de la solicitud de conexión de un GDR.

La Empresa de Distribución puede rechazar la solicitud de conexión de un GDR, si se da cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando no se ubique dentro de su área de concesión.
- Cuando en su condición de Cliente, el solicitante estuviese en mora con la Empresa de Distribución.
- Cuando el solicitante hubiese cometido infracciones establecidas en la Ley 661, Ley para la distribución y el uso responsable del servicio público de energía eléctrica y sus reformas, y no hubiese pagado el importe adeudado.
- Cuando se demuestre que la potencia máxima solicitada excede la demanda máxima del cliente.
- Cuando la potencia máxima solicitada exceda el límite de capacidad admisible de conformidad a la NGDRA 29.
- Cuando el Dictamen de Factibilidad Operativa no sea aprobado y no se haya realizado el Estudio de Impacto a la Red.

B) Rechazo de la Conexión de un GDR.

- Cuando las instalaciones del GDR no cumplan con las normas técnicas vigentes, o la ampliación o construcción de circuitos de distribución primarios o secundarios realizados por el solicitante, no cumplan con las leyes y normas de la materia.
- Cuando el GDR no cumpla con las adecuaciones y medidas necesarias definidas en los resultados de los Estudios de Impacto a la Red.
- Por cualquiera otra causa específicamente señalada en la Ley y su Reglamento.

Revisión del rechazo.

Al GDR que se le haya negado la solicitud o la conexión al sistema de distribución, puede solicitar revisión ante la ED en un plazo máximo de 10 días calendarios. La ED dispondrá del mismo plazo para emitir una respuesta. Una vez concluido el proceso ante la ED y obtenido una respuesta no satisfactoria, acudir ante las instancias del INE para seguir con los procedimientos administrativos del caso.

2.6 Remuneración por excedentes y esquema de facturación.

La remuneración por excedentes se realizara solamente en los casos que se haya suscrito un contrato de compra y venta entre las partes, la Empresa Distribuidora y el cliente (GDRA).

Estos excedentes serán remunerados al 80% del precio más bajo de la banda de referencia aprobada por el MEM. En el Anexo 8 se muestra documento de banda de precios dados por el MEM publicados en la Gaceta. El contrato y los precios serán registrados por el INE.

A continuación, se muestra en la tabla 15 la banda de precios aprobados y definidos en la página web del MEM.^[10]

Tabla 15: Banda de precios.

Fuente	Precio de Referencia US\$/MWh
	Máximo
Eólica	80
Geotérmica	92
Biomasa	80
Hidroeléctrica a filo de agua	107
Hidroeléctrica con embalse	99
Solar	70

¹⁰(Mansell, S. (2019). Ministerio de Energía y Mina. Gobierno de reconciliación y unidad nacional. Recuperado de <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/06/Banda-de-Precios.pdf>).

El esquema de facturación, la empresa distribuidora (Disnorte-Dissur) facturará el consumo y potencia efectiva del cliente según la tarifa aplicada de acuerdo al pliego tarifario vigente. Pero también en la misma factura se mostrará el precio y monto total de la energía inyectada a la red, donde a este monto se le adicionará un cargo de disponibilidad de red cuando el cliente inyecte los excedentes de energía a la red de distribución, quedando un monto total donde la distribuidora restará este monto total de energía inyectada al monto total del consumo mensual del cliente. En la tabla 16 se muestra un ejemplo de cómo vendría estructurado este esquema de facturación, este esquema es de elaboración propia.

Tabla 16: Esquema de facturación.

Tarifa	Periodo de facturación	Consumo de energía (kWh/mes)	Concepto	Importe
T.O	Ene. 12/01/2019	100	Energía (kWh)	C\$ 614.00
			Alumbrado público	C\$ 83.73
	Comercio menor		C\$ 34.16	
	Subsidio consumo menor 150 kWh		C\$ 22.96	
	Subsidio comercialización menor 150 kWh		C\$ 6.84	
	Subsidio Alumbr. Público menor 150 kWh		C\$ 14.33	
	Requisitos INI		C\$ 4.01	
	Subtotal 1 calculado		C\$ 404.65	
	Feb. 12/01/2019		Energía inyectada a la red (kWh/mes)	C\$ 282.40
			Precio de venta según el MPM	570
Precio total de la energía vendida		C\$ 297.78		
Impuesto de disponibilidad de red		C\$ 150.00		
Subtotal 2 calculado	C\$ 72.78			
Importe total a facturar				C\$ 331.88

La tarifa de referencia para el cobro de la disponibilidad de red será la tarifa de uso de redes de media tensión establecida en el pliego tarifario publicado en la página web del INE con un cargo o monto fijo de 297.10477 C\$ ^[11], cabe mencionar que este cargo solo aplica únicamente para grandes consumidores donde su potencia nominal está entre un rango entre 1MW hasta 5MW. Hoy en día aun no hay un monto o cargo establecido por la normativa, para consumidores con potencia nominal menor de 1kW hasta mayor a 2kW, pero se estima que el monto sea el 50% menor al cargo ya establecido para grandes consumidores que sería aproximadamente C\$ 150.

¹¹ (Castañeda, J. (2019). Instituto Nicaragüense de Energía. Gobierno de reconciliación y unidad nacional. Recuperado de https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2019/08/pliego_agosto19_uso_redes.pdf).

En el Anexo 9 se muestra la información de la tarifa de uso de redes de media tensión como referencia para grandes consumidores.

2.7 Mantenimiento de la instalación.

Se debe realizar mantenimiento preventivo cada dos meses, para evitar el sobre calentamiento en las celdas fotovoltaica y en el micro inversor por la suciedad del ambiente, aumentando la vida útil y rendimiento de operación de estos equipos.

El mantenimiento de la instalación normalmente representa el 1% de la inversión inicial y su limpieza debe realizarse al menos cada dos meses.

2.8 Presupuesto del Proyecto.

Para todo proyecto es necesario realizar el análisis financiero ya que permitirá conocer la inversión inicial y en cuanto tiempo es posible recuperar la inversión.

La inversión inicial empleada para instalar el sistema ahorrador de energía eléctrica, se detalla en la tabla 17.

Tabla 17: Inversión Inicial.

Cantidad	Elemento	Costo (\$)
4	Modulo Fotovoltaico	960
2	Micro inversor	300
1	Medidor bidireccional	360
1	Estudio de impacto a la red	120
1	Materiales Varios	30
2	Estructura	100
1	Mano de obra	330
Total Inversion inicial		2200

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular los costos totales, es necesario conocer, mantenimiento de la instalación la cual representa el 1% del costo total de la inversión, la vida útil del proyecto.

En la tabla 18. Se muestra la vida útil de los elementos de la instalación fotovoltaica.

Tabla 18: Vida útil de los equipos.

Vida util de los equipos						
Vida util (Años)	Modulos FV	Micro inversor	Medidor bidireccional	Cables	Puesta a tierra	Protecciones
	25	20	20	25	20	20

Fuente: Elaboración propia.

Los costos por mantenimientos preventivos de la instalación, se muestran en la tabla 19.

Tabla 19: Costos de mantenimiento preventivo.

Costos de mantenimiento			
Gastos anual	Modulos FV	Micro inversor	Costo total
	\$11	\$11	\$22

Fuente: Elaboración propia.

2.9 Indicadores financieros VAN TIR Y PRI.

Los flujos de caja (cobros - pagos) está dada por la ecuación 8.

$$VAN = \frac{f1}{(1+i)^{n1}} + \frac{f2}{(1+i)^{n2}} + \frac{f3}{(1+i)^{n3}} + \dots - I0,$$

ec.8

F, 1, 2,3...: Flujos de efectivos es decir cobros – pagos por cada año útil del sistema.

F: Años de vida útil del sistema.

K= tasa de rentabilidad.

IO: Inversión inicial.

Resolviendo se obtiene:

F: 25 años

K: 15% (TREMA).

IO: - \$ 2,200.00

TIR: 17%

VAN: \$276.74

2.10 Viabilidad económica.

Para que un nuevo proyecto, sistema o idea tenga viabilidad, debe cumplir con los requisitos establecidos al momento de hacer el estudio y cumplir con los objetivos que se establecen, que sea factible, eficiente y deba sobrepasar en calidad, cantidad y otros aspectos relacionados a sistemas.

Se puede decir que este proyecto con sus datos técnicos y económicos revela que es viable económicamente, debido a que el VAN es positivo, y adicionalmente se alcanzan ganancias después de 6 años y cumple con los objetivos planteados al principio. En Anexo 10 se muestran los flujos financieros netos.

2.11 TEP ahorrados con el sistema instalado.

El protocolo de Kioto, aprobado el 10 de diciembre de 1997, en la cumbre de Kioto, exige a los países industrializados a limitar la emisión de seis gases de efecto invernadero en el periodo 2008-2012 (protocolo de Kioto 2010), los cuales son:

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Oxido nitroso (N_2O)
- Hidrofluorocarbono (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF_6)

La generación de electricidad se sigue produciendo enormemente mediante la quema de combustibles fósiles (carbón, gas o petróleo), que emiten CO_2 y otros gases de efecto invernadero. Por lo tanto, cuanto menor sea nuestro consumo eléctrico, menos contaminaremos.

Según la comisión europea (CE) por sus siglas, para calcular los CO_2 producidos por el consumo eléctrico, se da por la conversión de 0.65 Kg de CO_2 por cada Kwh.

CO_2 Producidos anualmente por los kWh de consumo en promedio antes del sistema es:

$$\text{CO}_2 \text{ Producidos} = (\text{kWh/año}) \times (0.65 \text{ kg de } \text{CO}_2).$$

ec.9

$$(165 \text{ kWh}) \times (12 \text{ meses}) = 1980 \text{ kWh/año.}$$

$$\text{CO}_2 = (1980 \text{ kWh/año}) \times (0.65 \text{ kg}) = 1287 \text{ kg producidos anualmente sin el sistema.}$$

C_2 Producidos anualmente por los kWh de consumo en promedio después del sistema es:

$$(102 \text{ kWh}) \times (12 \text{ meses}) = 1224 \text{ kWh/año.}$$

$$C_2 = (1224 \text{ kWh/año}) \times (0.65 \text{ kg}) = 795.6 \text{ kg producidos anualmente con el sistema.}$$

En conclusión, se ahorrarán 521.4 kg de dióxido de carbono que es el resultado de la diferencia de C_2 producidos antes del sistema y después del sistema ahorrado. Es una cifra de dióxido de carbono considerable ahorrada que no se emitirá al medio ambiente durante 1 año.

Conclusiones.

1. El sistema de generación distribuida de acuerdo a las condiciones climáticas previstas en la radiación mensual genera aproximadamente **2177.28 kWh** anual, lo que en dinero representa en costos de la energía producida a **\$388.66** anual, por lo que de toda esa energía generada por los módulos fotovoltaicos se utilizan o se consumen aproximadamente **756 kWh** anual que en dinero representa **\$256.80** ahorrados, también el excedente de energía anual es de **1420 kWh** anual que representa en dinero **\$25.92** ahorrados por la venta de energía excedente inyectada a la red y por reducir el consumo eléctrico a menos de 150kwh mensual, se aplica un subsidio a la factura de **\$122.4** anual. Al sumar el monto de la energía consumida o utilizada por los paneles, el monto de la venta de energía excedente y el monto por subsidio anualmente se están ahorrando **\$405.1** anual. En la tabla 20 se muestra el ahorro total anual.

Tabla 20: Ahorros totales con el sistema instalado.

Energía ahorrada	\$256,80
Venta de energía excedente	\$25,9
Subsidio	\$122,4
Ahorro anualmente	\$405,1

2. Se diseñó un sistema eléctrico de generación distribuida mediante el uso de paneles fotovoltaicos conectado a la red de distribución eléctrica, este diseño se muestra en el Anexo 11.

3. Se cuantificó que sin el sistema la vivienda producía **1287 kg de CO₂** con un consumo promedio de 165 kWh mensual en un año, y con el sistema fotovoltaico ya instalado se producen **795.6 kg de CO₂**. Realizando la diferencia del antes y el después del sistema, se concluye que se ahorrarán **521.4 kg de CO₂** que no serán emitidos al medio ambiente durante un año sin tomar en cuenta que la vida útil del sistema es de 25 años.

4. Se calculó que en 25 años los paneles fotovoltaicos generaran un promedio de 54.240 kWh y con un monto invertido de \$2332 que es la inversión inicial más el costo del mantenimiento durante los 6 años de recuperación de la inversión que son \$132 lo que indica que cada kWh generado es equivalente a \$0.04, comparado con los kWh generados con energía convencional al precio de la tarifa actual vigente es de \$0.27 el kWh, se determina que es mucho más económica.

Se cuantificó que con el sistema la vivienda inyectaría a la red de distribución 118.1 kWh mensual, lo que en dinero representa C\$72.78 descontando el impuesto por disponibilidad de red. En la tabla 21 de elaboración propia se muestra el costo y cantidad de la energía excedente inyectada.

Tabla 21: Costo y cantidad de energía excedente.

Energía Mensual								
Potencia generada	1008	W	6048	WH	6,05	Kwh/d	181,4	Kwh/mes
Censo de carga	350	W	2100	WH	2,1	Kwh/d	63,0	Kwh/mes
Excedente de energia							118,4	Kwh/mes

Energía Excedente (kWh/M)	118,4	
Energía Excedente (MWh/M)	0,1184	
Venta de energia	USD 6,63	C\$ 222,78
Deducion de Impuesto Peaje	-USD 4,46	C\$ 150,00
Ganancia de venta de energia	USD 2,16	C\$ 72,78

En Anexo 12. Se puede observar la tarifa T0 aplicada sin subsidio y con subsidio. Simuladas por el sistema “SGC” utilizado por la empresa Disnorte-Dissur.

5. Los indicadores financieros, reflejan que la inversión realizada es rentable económicamente, ya que los resultados obtenidos fueron positivo. En la tabla 22 se muestra los resultados de indicadores financieros.

Tabla 22: Resultado de los indicadores financieros.

VAN	\$276,54
TIR	17%
R - B/C	3,1
PRI	6

Recomendaciones.

Este trabajo monográfico ha servido para evaluar el sistema fotovoltaico de autoconsumo, y aunque sus resultados fueron positivos, es importante que se considere lo siguiente:

- 1) Se recomienda al momento de emprender un proyecto de este tipo, tomar en cuenta opciones de financiamiento, las cuales deben ser analizadas para definir la combinación adecuada de aporte de capital o financiamiento total bancario.

Bibliografía.

- [1]. Mansell, S. (2019). Ministerio de Energía y Mina. Gobierno de reconciliación y unidad nacional. Recuperado de http://www.cndc.org.ni/graficos/graficaGeneracion_Tipo_TReal.php.
- [2]. Perpiñán, O. (2012). *Diseños de sistemas fotovoltaicos*. España. pag.15.
- [3]. Castejón Agustín, Santamaría Germán, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, editorial editex, Madrid España, pág. 27.
- [4]. Castejón Agustín, Santamaría Germán, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, editorial editex, Madrid España, pág. 27.
- [5]. López Ayala Iñigo. (2008), "Se debe instalar protecciones en el inversor y que siempre actúe el elemento de protección más cercano a la falla de manera que sólo quede desconectada la zona afectada".
- [6]. Castejón Agustín, Santamaría Germán, *Instalaciones solares fotovoltaica*, Tipos de estructura, pág. 156.
- [7]. Bernal, Cesar A, *Metodología de la investigación*, 3er edición, pagina 115-117.
- [8]. Lorenzo José Alonso, *Boletín solar fotovoltaica*, Sunfields, Caruña, España, Europa 2012.
- [9]. Blanco Israel, Alonso Jaime, *Instalación solar fotovoltaica de conexión a red sobre azotea de una nave industrial*, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III, Madrid España.

[10]. Mansell, S. (2019). Ministerio de Energía y Mina. Gobierno de reconciliación y unidad nacional. Recuperado de <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/06/Banda-de-Precios.pdf>.

[11]. Castañeda, J. (2019). Instituto Nicaragüense de Energía. Gobierno de reconciliación y unidad nacional. Recuperado de https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2019/08/pliego_agosto19_uso_redes.pdf.

Anexo 1. – Condiciones meteorológicas mensuales en Monseñor Lezcano.

Condiciones meteorológicas							
Meses	Precipitación	Temperatura	Velocidad del viento	Humedad relativa	Radiación solar mensual	Temperatura Maxima	Temperatura minima
	mm/dia	°C	m/s	%	kWh/m ² /dia	°C	°C
Abril	0,94	29,87	4,02	52,49	6,6	35,67	24,43
Mayo	12,05	27,76	2,22	73,03	5,6	31,62	24,55
Junio	6,16	26,23	2,92	84,17	5,5	29,45	23,63
Julio	0,84	26,63	3,97	78,54	6	30,64	23,33
Agosto	2,32	27,25	3,87	74,06	5,6	31,82	23,57
Septiembre	5,23	27,23	2,67	75,85	5,8	31,72	23,75
Octubre	16,56	25,54	2,64	85,96	4,7	28,75	23
Noviembre	0,82	26,11	3,17	81,4	5,4	30,18	22,74
Diciembre	0,05	25,77	4,27	71,2	5,2	31,11	21,36
Enero	0,09	26,87	4,7	60,4	5,7	33,05	21,57
Febrero	0,007	28,35	4,79	54,89	6,3	34,7	22,74
Marzo	0,001	29,1	5,21	48,55	7	35,48	23,02
Anual	3,75	27,22	3,7	70,045	5,8	32,01	23,14

Fuente: POWER Data Access Viewer.

URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Anexo 2. - Pliego tarifario vigente del mes de septiembre del 2019 aplicado en la tarifa T0.



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**

**TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE SEPTIEMBRE 2019
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR**

BAJA TENSION (120,240 y 480 V)					
TIPO DE TARIFA	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (CS/kWh)	POTENCIA (CS/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	3.1071	
			Siguientes 25 kWh	6.6937	
			Siguientes 50 kWh	7.0106	
			Siguientes 50 kWh	9.2853	
			Siguientes 350 kWh	8.7377	
			Siguientes 500 kWh	13.8783	
			Adicionales a 1000 kWh	15.8122	

Fuente: INE (Instituto Nicaragüense de Energía).

URL: https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2019/09/pliego_septiembre19_baja_tension_1.pdf

Anexo 3. - Pliego tarifario del mes de septiembre del 2019, tarifa social.



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**

CARGO SOCIAL SUBSIDIADO

**A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE SEPTIEMBRE DEL 2019
AUTORIZADOS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR**

CONSUMO DE ENERGIA HASTA 150 kWh MENSUALES (5 kWh/DIA)

CARGOS POR ENERGIA

CS/kWh	
Bloques de Consumo	Cargo Social Subsidiado
Primeros 25 kWh	1.4661
Siguientes 25 kWh	3.1584
Siguientes 50 kWh	3.3079
Siguientes 25 kWh	5.5592
Siguientes 25 kWh	6.4857

Fuente: INE (Instituto Nicaragüense de Energía).

URL:

[https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2019/09/pliego_tarifa
_social_septiembre19_energia_comercializacion.pdf](https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2019/09/pliego_tarifa_social_septiembre19_energia_comercializacion.pdf)

Anexo 4. - Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC)*	8Q280P
Nominal Output (Pmax)	230 W
High Test Power (Pmax)	194 W
Voltage at Pmax (Vmp)	31.2 V
Current at Pmax (Imp)	6.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V
Short Circuit Current (Isc)	9.1 A
Maximum System Voltage	1620 V
Maximum Series Fuse Rating	15 A
Module Efficiency	17.21%

MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Solar Cells	60 (6x10) polycrystalline
Solar Cells Size	155x155 mm / 6x6"
Front Glass	3.2 mm / 0.125" Black low iron tempered glass
Back Layer	EPE (HDPE-PE)-tethered
Encapsulant	EVA (Ethylene vinyl acetate)
Frame	Anodized aluminum alloy, double wall
Frame Finishing	Silver / Black
Backsheet Finishing	White
Diodes	3 bypass diodes per module
Junction Box	IP67 rated
Connector	MCA or compatible connector
Cable Length	600 mm / 23.4"
Cable Section	4.0 mm ² / 1,000 in ²
Dimensions	1045x365x40 mm / 41.14x14.37x1.57"
Weight	16 Kg / 35.7 lb
Max. Load	Complies to 5400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
NOCT**	45±2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.32 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04 %/°C
Operating Temperature	0 °C - 65°C

PACKAGING ***	
Pallet dimensions	1700x1200x 200 mm / 67x47x8"
Modules per pallet	24
Weight	375 Kg / 1188 lb

CERTIFICATIONS	
Fire Resistance Rating	1 (UNI 7174)
PEE test	IEC TS 61604-1 01:5

Anexo 5. - Especificaciones técnicas del micro inversor.

Ficha Técnica YC600 Microinversor

Datos de Entrada (DC)

Potencia de Módulo PV Recomendada	200Wp-365Wp
Rango de Voltaje MPPT	22V-48V
Rango de Voltaje de Operación	10V-55V
Voltaje de Entrada Máximo	55V
Corriente de Entrada Máxima	12A x 2
Corriente de Cortocircuito de Entrada	13.2A

Datos de Salida (AC)

Potencia Máxima de Salida Continua	548VA
Voltaje de Salida Nominal	240V
Corriente de Salida Nominal	2.28A
Unidades Máximas por Sucursal	7 (14PV Modules)
Frecuencia de Salida Nominal	60Hz
Rango de Voltaje de Salida Ajustable	160V-276V
Rango de Frecuencia de Salida Ajustable	55.1Hz-64.9Hz
Factor de Potencia (Ajustable)	0.8 Leading..0.8 Leading
Distorsión Armónica Total	<3%
Protección Máxima de Sobrecorriente de Salida	6.3A

Eficiencia

Eficiencia Máxima	96.5%
Eficiencia de CEC	96.5%
Nominal MPPT Eficiencia	99.5%
Consumo de Energía Nocturno	50mW

Datos Mecánicos

Rango de Temperatura Ambiental	-40 °F to +149 °F (-40 °C to +65 °C)
Rango de Temperatura de Almacenamiento	-40 °F to +185 °F (-40 °C to +85 °C)
Dimensiones (A x L x P)	10.5" x 7.4" x 1.3" (260mm X 189mm X 31.5mm)
Peso	5.7lbs(2.6kg)
Corriente Máxima de Bus de CA	20A
Enfriamiento	Convección Natural - Sin Ventiladores
Clasificación Ambiental del Recinto	NEMA6

Características

Comunicación (Inversor Para ECU)	Inalámbrico Zigbee
Diseño de Transformador	High Frequency Transformers, Galvanically Isolated
Monitoreo	Via EMA® Online Portal

Certificado de Cumplimiento

Seguridad y Cumplimiento de EMC	UL1741 CA Rule 21 (UL1741 SA); FCC Part15; ANSI C63.4; ICES-003
Cumplimiento de Conexión de Red	IEEE1547
Cumplimiento de NEC	NEC2014 & NEC2017 Section 690.11 DC Arc-Fault circuit Protection NEC2014&NEC2017 Section 690.12 Rapid Shutdown of PV systems on Buildings

Anexo 6. Condiciones meteorológicas mensual partiendo de las HSP y la eficiencia total de sistema.

Valores mensuales de variable Horas Solares Pico y temperatura													
Meses	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Anual
Horas Pico Solar (HSP)	6.6	5.6	5.5	6	5.6	5.8	4.7	5.4	5.2	5.7	6.3	7	5.8
Temperatura (°C)	30	28	26	27	27	27	26	26	26	27	28	29	27

Calculo de eficiencia del sistema													
Meses	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Anual
Eficiencia por temperatura (%)	94%	96%	98%	97%	96%	96%	98%	97%	97%	96%	95%	95%	96%
Eficiencia del inversor (%)	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Eficiencia del cableado (%)	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%	97%
Eficiencia del sistema (%)	88%	89%	91%	90%	89%	89%	91%	90%	90%	89%	88%	88%	90%

Fuente: Elaboración propia del curso de diseño de sistemas fotovoltaicos (UNIPostgrado).

Anexo 7. Especificaciones técnicas del medidor bidireccional. (Parte 1).

Mk10D

 **ATLAS** - Clase 1 y clase 2

Tres inteligente medidor de fase con la característica de desconexión



Normas y Conformidad

- Clase 1 y clase 2
- IEC 62052-11, 62052-21, 62053-21, 62052-31, 62053-23
- AS 62052.11, 62052.21, 62053.21, 62053.23, 62052.31
- NMI Mo

Medición

- 3 fasa 4 alambre
- Resolución de medida de intensidad de neutro

Volaje

Batería

- La batería interna
- * Opción para la batería externa
- * Opción para Supercap adicional (72 horas)
- Tiempo de respaldo de 10 años sin energía (batería de litio)

Rolaje en tiempo real

- Precisión (interna) dentro de ms 15 segundos por mes a 23 ° C

Memoria de datos

- 2 MB de memoria no volátil

Encuesta cargar / Perfil

- Más de 5000 días de almacenamiento (2 canales, intervalos de 30 minutos)
- Soporta el sistema Gestión avanzada (ADM) con reglas prioritizadas
- Estro, todo
- Hasta 12 canales y 4 escalas independientes
- Intervalos programables de 1 a 60 minutos
- Energía, sectores, intervalos, energía, pérdidas, costo, fuentes de canales
- Capacidad para almacenar valores promedio mínimo / máximo / de la duración del intervalo

Seguridad

- La seguridad de varios niveles (protección de usuario y contraseña, control de permisos de acceso de usuario)
- Hasta 7 niveles de seguridad independientes
- Hasta 6 usuarios independientes
- bit de encriptación AES128

Comunicaciones

- Hasta 3 puertos de comunicación que trabajan de forma independiente
- Puerto optico FI AQ (IEC 62053-21) y AMBI tipo 2 (ANSI C12.18)

Anexo 7. Especificaciones técnicas del medidor bidireccional. (Parte 2).

Medición

- 3 fase 4 alambres
- Posibilidad de medida de intensidad de neutro

voltaje

- Tensión nominal: 120V, 220V - 240V
- Rango de tensión sensible: 10V - 13V, 175V - 250V
- Seguridad: Clase 250V
- Carga: IEC 62053-31 compatible

Corriente

- gama WC: 5 / 100A, 1C / 100A
- Límite de WC: 7000A para 3 cables
- Carga: $43.5VA$ / fase

Frecuencias

- 45 Hz - 65 Hz

Rol

- 100A IEC 62053-31 Anexo C UC3
- Determinación de tasa de error
- * Opción para la medición de corriente indirecta en 100A
- * Opción de medición del kWh de tiempo conjunto
- * Se puede configurar más de diez dispositivos

Entradas / Salidas de configuración

- Hasta 8 salidas independientemente / O
- Los registros incluyen: errores de paridad / fecha,

Reloj en tiempo real

- Precisión (interna) dentro de los 15 segundos por mes a 25 °C

memoria de datos

- 2 MB de memoria no volátil

Monitor

- Gran pantalla aforométrica de 7 segmentos con 10.7 mm a tamaño 6.67" en digital
- * Gran pantalla aforométrica de 40 segmentos con 10.7 mm a tamaño 6.67" en digital
- Hasta 60 pantallas configurables por el usuario en cualquier momento: texto
- Actualizaciones de firmware
- Visualización disponible sin conexión a corriente
- Opción LED de luz de fondo

Valores medidos

- 5 elementos de medición
- Ingreso / Salida / Wh (activo, reactivo y VA)
- Wh Fundamental
- Ph (cálculo de Wh), voltaje (VA)
- Fase A, B, C y Total
- W, Var, VA, Vrms, rms
- Coeficiente de potencia, frecuencia, ángulo de fase
- Soporta control de producción / AKUC

- Intervalos programables de 1 a 60 minutos
- Encendido, lecturas instantáneas, alertas salientes como fuentes de consumo
- Capacidad para almacenar valores por hora mínimo / máximo / de la duración del intervalo

Tiempo de uso

- Hasta 8 tentos más de fase verificada
- Hasta 32 registros de importación y exportación separados
- 11a mano: semanales, mensuales, anuales y especiales
- Hasta 200 días especiales programables
- Hora de punta no programable durante todo el periodo festivo
- Waj por el día de la semana de activación
- Momento de máxima demanda
- Energía, unidades pagadas

Calendario

- Es configurable para el tiempo de verano
- Es compatible con los calendarios propiamente o por

Tamper Detección y Alarmas

- Detección de tamper de batería con alarma cuando se presiona el botón
- Detección de detección de corriente actual y inversa
- Detección de manipulación: apertura y de fase
- Alarmas pre programados para auto chequeo: meteo

comunicaciones

- Hasta 3 puertos de comunicación que trabajan de forma independiente
- Puerto óptico: FLAG (IEC 62056-2 1) o AMR: Tipo 2 (ANSI C12.10)
- RS-232 con alimentación por sistema de alimentación (PS) 3C / 4C LTE compatible
- RS-485 multi-drop (2 o 4 hilos RS485 o 3-alambre terminal de 4 cables)

- UCP / IP PPP / GPRS capaz

- Compatible con MV-90™

Protocolo

- Base de comunicación EDM
- DUMC
- MODBUS

Software

- El software EDM EnView disponible para la programación y la lectura del medidor (compatible con Windows)
- Software EDM Multi Drive disponible para soluciones de gran escala con IAW y AMR (compatible con Windows)
- Con el equipo de prueba de software ANR compatible de la serie de múltiples proveedores
- Soporta todos los protocolos de comunicación

Ambiental

Anexo 8. – Banda de precios de referencia publicados por el MEM.

MINISTERIO DE SALUD

Reg. 1762 – M. 518003 – Valor C\$ 05,00

AVISO DE LICITACIÓN PÚBLICA
Adquisición de Equipamiento para Cinco Puestos de Salud
Familiar y Comunitarios
 I P-70-25-2017

El Ministerio de Salud (MINSAL), invita a las personas naturales o jurídicas autorizadas en nuestro país para ejercer la actividad comercial e inscritas en el Registro Central de Proveedores del Estado del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, a presentar ofertas en sobres sellados para la contratación del proyecto: "Adquisición de Equipamiento para Cinco Puestos de Salud Familiar y Comunitarios".
 Los licitantes interesados pueden obtener la información completa, incluyendo el Pliego de Bases y Condiciones en la siguiente dirección: Complejo Nacional de Salud "Doctora Concepción Palacios", ubicado en la Colonia Primera de mayo.

Teléfono: 2289-4700 (Ext. 1071).

Correo electrónico: adquisiciones@minsa.gob.ni
 CC: adquisiciones@minsa.gob.ni

Además pueden dirigirse a los portales:
www.comprasgub.ni
www.minsa.gob.ni

Atentamente,

(F) Lic. Tania Isabel García González, Directora General de Adquisiciones Ministerio de Salud.

Managua, Nicaragua
 09 de junio de 2017.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

Reg. 1781 – M. 516664 – Valor C\$ 190,00

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N.º 062-DGERR-002-2017

financiación e inversiones del sector energía".

IV

Que el literal g) del art. 4 de la Ley No. 911, "Ley de Reformas a la Ley No. 954, Ley de Estabilidad Energética y a la Ley No. 898, Ley de Variación de la Tarifa de Energía Eléctrica al Consumidor", establece literalmente que: "El Ministerio de Energía y Minas deberá aprobar, publicar y actualizar la Banda de Precios de Referencia para las nuevas contrataciones de generación de energía con fuentes renovables."

POR TANTO,

En base a las consideraciones de derecho antes indicadas y por ser la actividad de la industria eléctrica de interés nacional, como un elemento indispensable para el desarrollo de la nación, esta Autoridad,

RESUELVE:

PRIMERO: Aprobar la Banda de Precios de Referencia para el desarrollo de proyectos de generación con Fuentes Renovables, de conformidad a la siguiente tabla:

Puesto	Precio Máximo
	US\$/MWh
Eólica	80
Geotérmica	92
Hidrotérmica	80
Hidroeléctrica a filo de agua	107
Hidroeléctrica con embalse	99
Solar	70

SEGUNDO: Los valores de la Banda de Precios de Referencia para el desarrollo de proyectos de generación con fuentes renovables estipulados en la presente resolución son máximos y no están sujetos a indexación.

TERCERO: La presente resolución entrará en vigencia a partir de su publicación en La Gaceta, Diario Oficial.

En la ciudad de Managua, a los dieciséis (16) días del mes de junio del año dos mil diecisiete. (F) SALVADOR MANSRELL CASTRILLO, Ministerio de Energía y Minas.

Fuente: MEM (Ministerio de energía y minas).

URL: <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/06/Gaceta-No.-108-del-09-de-junio-del-2017-Banda-de-Precios.pdf>

Anexo 9. - Pliego tarifario de uso de redes para grandes consumidores.



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**

**TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE SEPTIEMBRE 2019
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR**

MEDIA TENSION (VOLTAJE PRIMARIO EN 13.8 Y 24.9 KV)						
TARIFA	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR		
		CODIGO	DESCRIPCIÓN	CLIENTE (C\$/mes)	ENERGIA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
USO DE REDES	Para uso de Redes de Distribución	T-4 URDMT	Cargo Fijo	298.2985		
			Cargo por Demanda de potencia			151.5588
			Cargo Variable por Energía- Horas Punta		0.6030	
			Cargo Variable por Energía- Horas Fuera de Punta		0.5406	

Fuente: INE (Instituto Nicaragüense de Energía).

URL:

https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2019/09/pliego_septiembre19_uso_redes.pdf

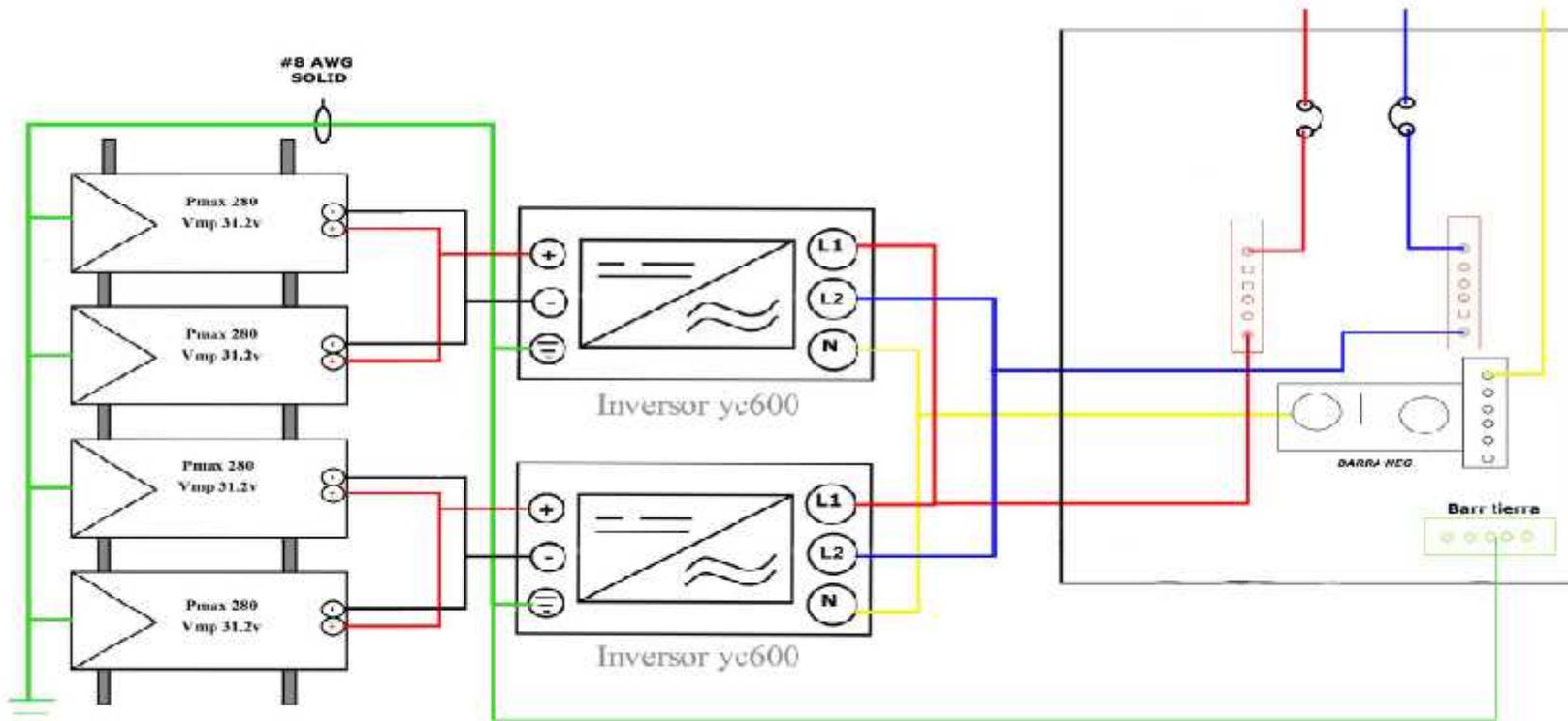
Anexo 10. – Flujos de efectivos de la inversión total (Parte 1).

Concepto	Periodos Anuales												
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6		Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Inversión Inicial	-\$2.200												
Modulo Fotovoltaico	-\$960												
Micro inversor	-\$300												
Medidor bidireccional	-\$360												
Estudio de impacto a la red	-\$120												
Materiales Varicos	\$30												
Estructura	-\$100												
Mano de obra	-\$330												
Balance general energetico y financiero con los modulos FV								Sub total 1					
Energia Facturada Antes Kwh/Año		1980	1980	1980	1980	1980	1980	11880	1980	1980	1980	1980	1980
Energia ahorrada Kwh/Año		756	756	756	756	756	756	4536	756	756	756	756	756
Energia Facturada despues Kwh/Año		1224	1224	1224	1224	1224	1224	7344	1224	1224	1224	1224	1224
Subsidio		\$122,40	\$122,40	\$122,40	\$122,40	\$122,40	\$122,40	\$734,40	\$122,40	\$122,40	\$122,40	\$122,40	\$122,40
\$ Facturada Antes		\$534,48	\$534,48	\$534,48	\$534,48	\$534,48	\$534,48	\$3.206,88	\$534,48	\$534,48	\$534,48	\$534,48	\$534,48
\$ Energia ahorrada		\$266,80	\$266,80	\$266,80	\$266,80	\$266,80	\$266,80	\$1.640,80	\$266,80	\$266,80	\$266,80	\$266,80	\$266,80
\$ Energia real facturada despues		\$144,50	\$144,50	\$144,50	\$144,50	\$144,50	\$144,50	\$866,98	\$144,50	\$144,50	\$144,50	\$144,50	\$144,50
Balance general financiero de energia excedente con los modulos FV								Sub total 1					
\$ Venta de energia		\$79,56	\$79,56	\$79,56	\$79,56	\$79,56	\$79,56	\$477,36	\$79,56	\$79,56	\$79,56	\$79,56	\$79,56
\$ Deducion de Impuesto Peaje		-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52	-\$321,12	-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52	-\$53,52
\$ Ganancia de Venta de energia		\$25,92	\$25,92	\$25,92	\$25,92	\$25,92	\$25,92	\$155,52	\$25,92	\$25,92	\$25,92	\$25,92	\$25,92
Balance general de ganancias (Flujo financiero neto)								Sub total 1					
\$ Ahorro de energia + Ventas + Subsidio		\$405,12	\$405,00	\$405,00	\$405,00	\$405,00	\$405,00	\$2.430,12	\$405,00	\$405,00	\$405,00	\$405,00	\$405,00
Costo Mtc Preventivo		-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$132,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00	-\$22,00
\$ Ganancias Totales		\$383,12	\$383,12	\$383,12	\$383,12	\$383,12	\$383,12	\$2.298,72	\$383,12	\$383,12	\$383,12	\$383,12	\$383,12

Anexo 11. – Diseño del sistema eléctrico fotovoltaico.

Arreglo solar: 4 Pelmar solar, 2 y 2 en paralelo

Diagram DC



Fuente: Elaboración Propia en el sistema Sketchup .

Anexo 12. – Tarifa T0 aplicada sin subsidio y con subsidio.

Open S.G.C. - Facturación Simulada

Tarifa:	T0 BT DOMESTICO B0	Concepto	Importe
Gr. Concepto:	Grupo 1 por defecto (T0)	Energia (kWh)	1.189,89
Municipio:	MANAGUA	Alumbrado Publico	95,52
Per. Lectura:	Mensual	Comercializacion	99,58
Potencias Leídas (W) Sin Disc.: <input type="text"/> Punta: <input type="text"/> F. Punta: <input type="text"/>		Regulacion INE	13,85
Periodo de Facturación Inicio: 12/09/2019 Fin: 12/10/2019		IVA	97,92
Consumos de Energía (kWh) Activa: 165 Activa Pta: <input type="text"/> Activa F.Pta: <input type="text"/> Reactiva: <input type="text"/>		Total calculado:	1.496,76

Open S.G.C. - Facturación Simulada

Tarifa:	T0 BT DOMESTICO B0	Concepto	Importe
Gr. Concepto:	Grupo 1 por defecto (T0)	Energia (kWh)	614,08
Municipio:	MANAGUA	Alumbrado Publico	95,52
Per. Lectura:	Mensual	Comercializacion	34,18
Potencias Leídas (W) Sin Disc.: <input type="text"/> Punta: <input type="text"/> F. Punta: <input type="text"/>		Subsidio consumo menor 150 kW	-321,96
Periodo de Facturación Inicio: 12/09/2019 Fin: 12/10/2019		Subsidio Comercializacion menor	-6,84
Consumos de Energía (kWh) Activa: 102 Activa Pta: <input type="text"/> Activa F.Pta: <input type="text"/> Reactiva: <input type="text"/>		Subsidio Alumb. Público menor 15	-14,33
		Regulacion INE	4,01
		Total calculado:	404,66

Fuente: Programa SGC (Sistema de Gestión Comercial).