Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Tecnología de la Industria

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento parcial y alterno del consumo energético del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria

Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Mecánico

Elaborado por

Br. Ariel Esteban Calero Gutiérrez
Carnet: 2010-32598

Br. Jorge Alejandro Mejía Ojeda
Carnet: 2016-0259U

Br. Euler Alexander Mairena Ruiz
Carnet: 2010-33710

Tutor:

MSc. Carlos Andrés Jarquín Espinoza

23 de marzo de 2023
Managua, Nicaragua

Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

MEJÍA OJEDA JORGE ALEJANDRO

Carné: **2016-0259U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECANICA,** y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA,** a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los once días del mes de noviembre del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

Msc. Juan Oswaldo Blandino Rayo
Secretario de Facultad

Universidad Nacional de Ingeniería
SECRETARIA UNI-RUPAP
Facultad de Tecnología de la Industria

Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

CALERO GUTIERREZ ARIEL ESTEBAN

Carnè: **2010-32598** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECANICA,** y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA,** a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los once dias del mes de noviembre del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

Msc. Juan Oswaldo Blandino Rayo
Secretario de Facultad

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Tecnología de la Industria
SECRETARIA
UNI-RUPAP

Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

MAIRENA RUIZ EULER ALEXANDER

Carné: **2020-33710** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **972A** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECANICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los catorce días del mes de noviembre del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

Msc. Juan Oswaldo Blandino Rayo
Secretario de Facultad

Universidad Nacional de Ingeniería
SECRETARIA
UNI-RUPAP
Facultad Tecnología de la Industria

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 14-nov.-2022

Facultad de Tecnología de la Industria

La Oficina de Culminación de Estudios

Hace constar que el tema del trabajo monográfico:

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento parcial y alterno del consumo energético del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria

Propuesto por el (la) (los) o (las) bachiller(es):

Nombre Completo del Estudiante	Carrera	Modalidad
Ariel Esteban Calero Gutiérrez	Ingeniería Mecánica-RUPAP	Diurno
Jorge Alejandro Mejía Ojeda	Ingeniería Mecánica-RUPAP	Diurno
Euler Alexander Mairena Ruíz	Ingeniería Mecánica-RUPAP	Diurno

Tutor: Ing. Carlos Andrés Jarquín

Ha Sido

- **Aprobado:**

Cordialmente,

MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde

Decano

Managua, 20 enero de 2023

(505) 2249 1653 - (505) 2249 6879
(505) 2251 8271 - (505) 2251 8276

Costado Sur de Villa Progreso
Managua, Nicaragua

Managua, marzo 2023

MSc. Luis Alberto Chavarria Valverde

Decano de Facultad de Tecnología de la Industria

Universidad Nacional de Ingeniería UNI

Su despacho

Estimado MSc. Chavarria.

Tengo el agrado de dirigirme a usted con el objetivo de hacer de su conocimiento, que la Monografía titulada "Sistema fotovoltaico para el abastecimiento parcial y alterno del consumo energético del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria", elaborada por los estudiantes Ariel Esteban Calero Gutiérrez con numero de carnet: 2010-32598, Jorge Alejandro Mejía Ojeda con número de carnet: 2016-0259U y Euler Alexander Mairena Ruiz con número de carnet: 2010-33710, ha cumplido con los contenidos orientados por la normativa institucional.

Ratifico que el documento elaborado cumple con todos los requerimientos para optar al grado de Ingeniero Mecánico. Por tanto, certifico que los estudiantes están preparados para continuar con los procedimientos relacionados con la defensa.

Agradeciéndole por sus gestiones, me despido deseándole éxito en sus labores.

Atentamente;

MSc. Carlos Andrés Jarquín Espinoza

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a mi madre Maryin Ojeda Larios y mi padre Jorge Mejía Méndez, a quienes amo infinitamente, por su esfuerzo e incondicional apoyo a lo largo de todo este trayecto. A mi amada novia Eduarda Saborío que me ha apoyado y motivado a continuar con mi formación académica, gracias por su amor incondicional. A mis amigos Adriana Salas, Sharon Perez, Miguel Escobar, Jason Fonseca, Nelson Meza, Carlos Gutierrez y Danilo Zelaya en quienes he encontrado un refugio. Finalmente, pero no menos importante a mis bellas mascotas Teemo, Kira y Alphonse por ser mi apoyo emocional.

Jorge Alejandro Mejía Ojeda.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios que me ha permitido llegar hasta donde estoy y ser lo que soy, a mi esposa Tamara Quezada quien me ha motivado para culminar mi carrera y apoyado siempre incondicionalmente para también llegar donde estoy, a mi hijo Abdiel Calero quien también me motiva para ser cada vez mejor y ser un ejemplo para él, igualmente a mis padres Martha Gutiérrez y Rudy Calero quienes se esforzaron por darme una preparación profesional y me apoyaron siempre incondicionalmente, a mi padrastro Oscar Alemán por también ser parte importante en este proceso de preparación y brindarme su apoyo, finalmente comparto este logro con mis demás familiares y amigos.

Ariel Esteban Calero Gutiérrez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios que ha permitido que las cosas sucedan y su misericordia infinita me ha permitido obtener las virtudes y destrezas para desempeñar mi labor y alcanzar mis metas; a mi madre Lilliam C. Ruiz Mejía (q.e.p.d.) por su incesante labor que desempeñó por darme una educación integral y me motivo continuamente a alcanzar mis metas propuestas, por su cariño y apoyo incondicional para llegar donde estoy; a mis hermanos que fueron un pilar para el sostenimiento de la amistad, desarrollo económico y social dentro del núcleo familiar. Finalmente comparto este logro con mis demás familiares y amigos.

Euler Alexander Mairena Ruiz

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. OBJETIVOS 1

1.1 General 1

1.2 Específicos 1

II. MARCO TEÓRICO 2

2.1 Conceptos básicos eléctricos. 2

2.1.1 Átomos 2

2.1.2 Voltaje 3

2.1.3 Corriente 4

2.1.4 Potencia 6

2.1.5 Energía 7

2.2. Radiación Solar 8

2.2.1 Geometría Solar 12

2.2.2 Coordenadas Celeste Horarias 13

2.2.3 Recorrido de la radiación solar 15

2.2.4 Horas de Sol Pico (H.S.P.) 15

2.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas 16

2.3.1 Sistema Fotovoltaico aislados 16

2.3.2 Sistema Fotovoltaico Conectado a la red. 23

2.3.3 Componentes generales de un sistema fotovoltaico. 24

III. DISEÑO METODOLÓGICO 37

IV. DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO 38

4.1 Diseño de Módulo Fotovoltaico 38

4.2 Censo de carga 43

4.3 Mediciones y Dimensionamiento de sistema. 51
4.4 Selección de componentes. 60
4.4.1 Paneles solares. 60
Tabla 10. Parámetros técnicos del panel solar seleccionado. 61
4.4.2 Inversor. 61
4.4.3 Cableado. 63
4.5 Simulaciones. 64
4.6 Análisis económico 68
V. CONCLUSIONES 70
VI. RECOMENDACIONES 71
VII. BIBLIOGRAFÍA 73
VIII. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN 74
IX.ANEXOS 75

I. OBJETIVOS

1.1 General

Diseñar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento parcial y alterno del consumo energético del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria, a través del censo de carga, estudio de incidencia solar, modelados y simulaciones estructurales tridimensionales.

1.2 Específicos

- Medir la demanda energética del sistema de aire acondicionado del edificio FTI a través del analizador de red.
- Determinar la capacidad de generación del sistema fotovoltaico mediante el análisis de incidencia solar en el área del techo y parqueo del edificio FTI, usando software para su estimación.
- Seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico en base al cálculo de la capacidad de generación.
- Dimensionar la estructura de soporte del sistema de paneles solares a través de cálculos, simulaciones y modelados tridimensionales.
- Elaborar presupuesto y análisis económico del proyecto a través de hojas de cálculo de Excel que determine la viabilidad del proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos básicos eléctricos.

2.1.1 Átomos

Para entender qué es el voltaje y la corriente eléctrica, se debe tener cierto grado de familiaridad con el átomo y su estructura. Los átomos cuentan en su núcleo con protones, una partícula cargada positivamente, en el núcleo también se encuentran neutrones, los cuales son ligeramente más pesados que los protones y no cuentan con carga eléctrica, y girando alrededor del núcleo se encuentran los electrones, estos poseen una carga negativa de magnitud igual a la carga positiva del protón. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*)

La cantidad de protones, electrones y neutrones varían según el elemento. El átomo de helio (*Figura 1*), por ejemplo, cuenta con dos neutrones, dos electrones y dos protones. En todos los átomos neutros el número de electrones es igual al número de protones. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*).

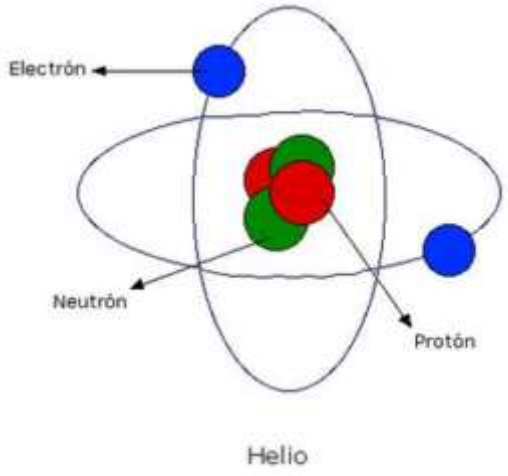


Figura 1. *Átomo de helio.*

2.1.2 Voltaje

También llamado diferencial de potencial eléctrico porque da cuenta de la diferencia de potencial entre dos puntos, es el trabajo por unidad de carga eléctrica que ejerce sobre una partícula un campo eléctrico, para moverla de un punto a otro.

Si separamos el electrón más lejano del núcleo del átomo, creamos regiones que tienen una carga positiva y negativa, toda fuente de voltaje se establece con solo separar las cargas positivas y negativas. Un coulomb de carga es la carga total asociada con 6.242×10^8 electrones. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*)

“Sí se utiliza un total de 1 joule (J) de energía para mover la carga negativa de 1 coulomb (C), hay una diferencia de 1 Volt (V) entre los dos puntos. Un coulomb de carga positiva tendría la misma magnitud, pero polaridad opuesta”. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*).

Su unidad de medición es el Volt, se eligió así para honrar los esfuerzos de Alessandro Volta, quien demostró que un voltaje se podía establecer por medio de una acción química.

“El voltaje es entonces una señal de cuánta energía se encuentra involucrada en el movimiento de una carga entre dos puntos en un sistema eléctrico”. *Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*)

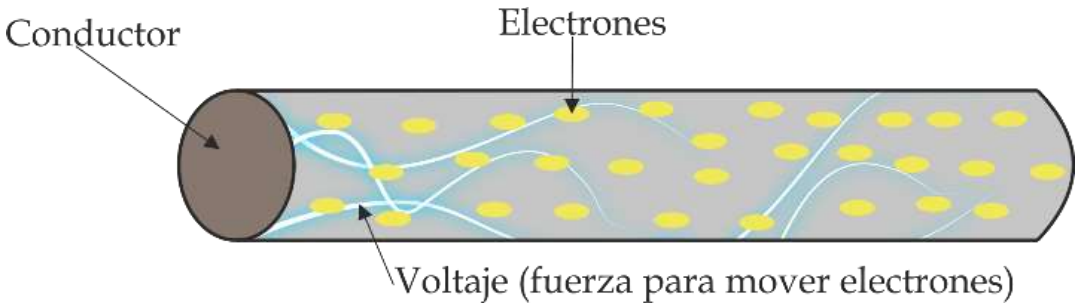


Figura 2. *Movimiento de los electrones por una diferencia de potencial.*

2.1.3 Corriente

La intensidad o corriente eléctrica es un flujo de carga eléctrica a través de un conductor, debido al desplazamiento de electrones que orbitan en el núcleo de los átomos que componen el conductor. El movimiento de los electrones se produce cuando a los extremos del conductor se aplica una tensión o diferencia de potencial externo, ya que esto genera un campo eléctrico sobre los electrones, que al poseer carga negativa se ven atraídos hacía la terminal positiva. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*)

La intensidad de la corriente eléctrica se determina por la cantidad de carga que pasa por un conductor en unidad de tiempo, esto es Culombios por segundo (C/s), que equivale a un amperio (A).

“En ausencia de fuerzas externas aplicadas, el flujo neto de carga en conductor hacia cualquier dirección es cero”. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*).

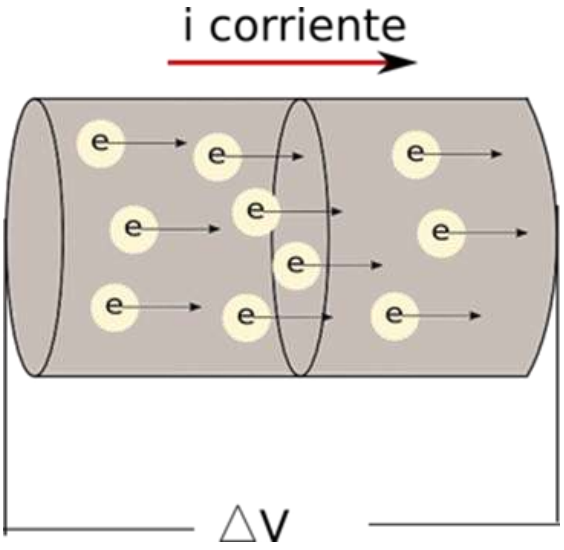


Figura 3. *Movimiento de los electrones a través de una sección transversal.*

2.1.3.1 Corriente Directa

También llamada corriente continua, es el flujo de carga eléctrica a través de un conductor y se caracteriza por ir en un solo sentido, dicho de otra manera, no varía su polaridad a través del tiempo.

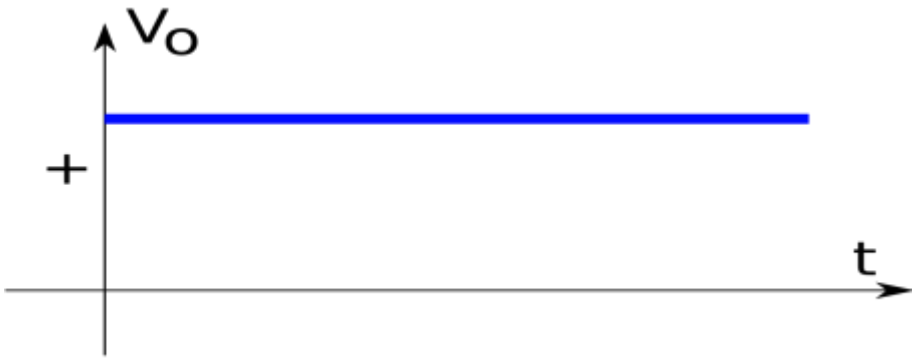


Figura 4. Corriente Continua.

2.1.3.2 Corriente Alterna

A diferencia de la corriente continua, se caracteriza por una variación regular y cíclica de su magnitud y sentido en el tiempo, es mucho más fácil de transformar que la corriente continua, siendo más eficiente.

La corriente continua puede transformarse a corriente alterna, a través de un inversor de corriente.

Figura 5. Corriente Alterna.

2.1.4 Potencia

"La potencia es una indicación de cuánto trabajo (Conversión de energía de una forma a otra) puede efectuarse en una cantidad específica de tiempo, esto es, una tasa de trabajo realizado. Por ejemplo, un motor grande tiene más potencia que un motor pequeño porque puede convertir más energía eléctrica en energía mecánica en el mismo período. Como la energía convertida se mide en Joules (J) y el tiempo en segundo (s), la potencia se mide en Joules / segundo (J/s). La unidad eléctrica de medición para la potencia es el watt (W)". (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*).

$$1\ Watt\ (W) = 1\ Joule/segundo\ (\frac{J}{s})$$

La unidad de medición Watt se deriva del nombre de James Watt, quien participó en el establecimiento de los estándares de medición de potencia. James Watt

introdujo el término caballo de potencia (Hp), como medida de potencia promedio desarrollada por un caballo fuerte durante un día de trabajo. Esto es aproximadamente el 50% más de lo que se puede esperarse de un caballo promedio.

2.1.5 Energía

Para que la potencia, que es una tasa con que efectúan un trabajo produzca una conversión de energía de cualquier forma, debe ser utilizada por un tiempo determinado. Por ejemplo, un motor puede tener los caballos necesarios para mover una carga, pero a menos de que se use durante un periodo establecido, no habrá conversión de energía. Además, entre mayor sea el tiempo que el motor se use para mover la carga, mayor será la energía gastada. Por tanto, la energía ganada o perdida por cualquier sistema de determina mediante:

$$W = P * t \ (Wattsegundos, Ws, o\ Joules)$$

2.1.5.1 Energía aparente

Resultaría común pensar que la potencia está determinada por el producto de la corriente y el voltaje aplicados, sin embargo, el factor de potencia (cosØ) de la carga tendrá un efecto importante sobre la potencia disipada, el cual será menos pronunciado para cargas más reactivas. (*Robert L. Boylestad; Introducción al análisis de circuitos 2004*).

Aunque el producto del voltaje y la corriente no siempre es la potencia entregada, es un indicador de potencia de gran utilidad para la descripción y el análisis de redes de corriente alterna senoidales y para fijar niveles máximos de muchos componentes y sistemas eléctricos. A este producto se lo denomina Potencia aparente y está representado de forma simbólica por “S”, sus unidades son volt-ampere (VA).

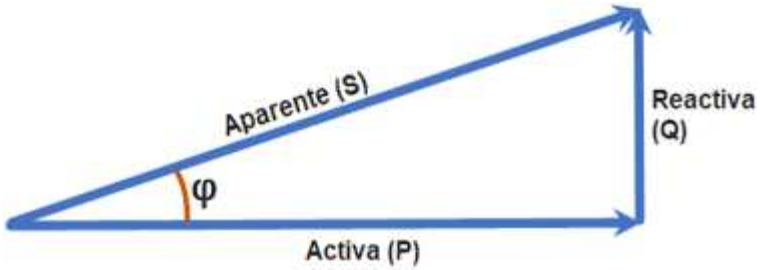


Figura 6. Triángulo de Energía.

2.1.5.2 Energía activa

Es la cantidad total de potencia útil que consume un equipo eléctrico, es decir es la realmente utilizada para realizar un trabajo, se denota comúnmente con la letra P, su unidad de medida es el KW.

En un sistema 100% eficiente P (Kw) = S (KVA), esto dependerá del factor de potencia que a su vez depende de la carga.

2.1.5.3 Energía reactiva

Esta potencia por el contrario de la potencia activa no produce trabajo útil. Está presente en sistemas eléctricos que incorporan bobinas o capacitores, es necesaria para crear campos magnéticos y eléctricos en dichos componentes. Se representa por la letra Q y su unidad de medida es KVAr.

2.2. Radiación Solar

La mejor forma de entender la radiación solar es definiendo la radiación electromagnética, que no es más que un tipo de campo electromagnético variable en la cual el campo eléctrico y magnético se superponen oscilando de tal forma que se propagan por el espacio transportando energía de un punto a otro. De esta forma podemos definir que la radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol con una distribución espectral muy similar a la producida por un cuerpo negro a 5777 K.

El sol hace llegar una irradiancia directa normal de 1367 Wm2 a la superficie de la atmósfera que recibe el nombre de constante solar. Desde la superficie de la Tierra, dicho valor varía en función del momento del día, los componentes atmosféricos y la latitud.

Para realizar este estudio es necesario entender ciertos conceptos fundamentales, tales como:

Absortividad (αλ)

Es la razón de la cantidad de energía radiante absorbida por una superficie entre la cantidad total de energía incidente sobre esa superficie.

Albedo

Es la fracción de luz incidente reflejada en una longitud de onda o espectro dado.

Cuerpo negro

Cuerpo que se caracteriza por la propiedad de que toda la radiación que absorbe, también la emite. Todo cuerpo emite energía en forma de ondas electromagnéticas; sin embargo, no emiten con igual intensidad a todas las frecuencias o longitudinales de onda, para ello siguen la ley de Planck.

Emisividad (ελ)

Se define como la razon de la energía emitida por una superficie a una longitud de onda y una temperatura dada, entre la energía emitida por un cuerpo negro a la misma longitud de onda y a la misma temperatura.

Existen tres componentes de la radiación solar:

- Directa: Es la que proviene del sol, sin desviar su paso a través de la atmósfera.
- Difusa: Varía debido a la reflexión y difusión en la atmósfera.

- Albedo: Es la que se obtiene por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, esta puede ser directa o difusa.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico.

Figura 7. Mapa del potencial Fotovoltaico en Nicaragua.

Fuente: © 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis.

Figura 8. Mapa de irradiación global horizontal.

Fuente: © 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis.

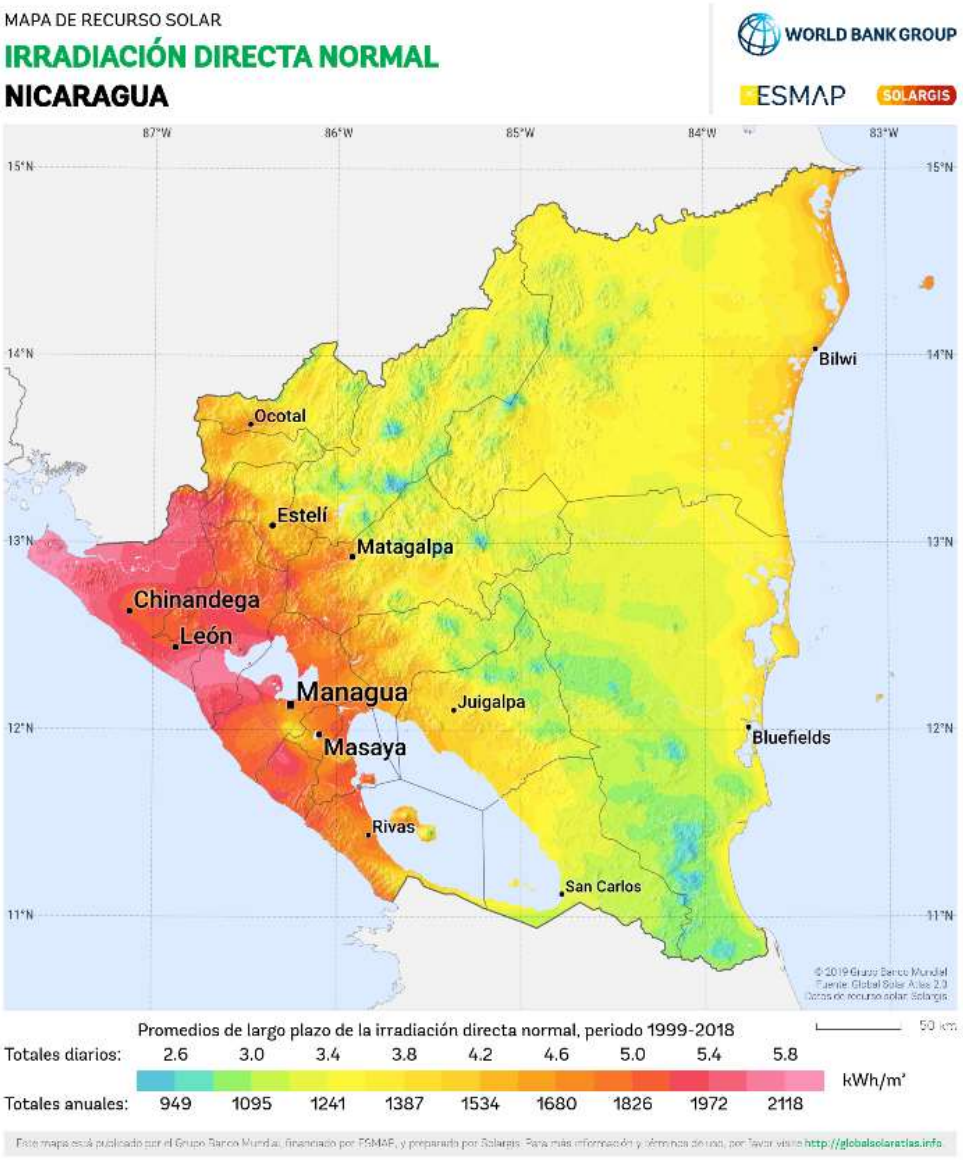


Figura 9. Mapa de irradiación directa normal.

Fuente: © 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis.

2.2.1 Geometría Solar

Es importante conocer la geometría solar para poder estimar la cantidad de energía que se pueda aprovechar por un panel fotovoltaico y la disposición óptima del mismo.

La orientación se define mediante el ángulo Azimut (Ψ), como se observa en la Ilustración 4, el Azimut se define como el ángulo que forma la dirección sur con el objeto. (Positivo hacia el oeste)

La altura del sol (α) varía de acuerdo con las estaciones, este parámetro es importante, ya que aporta en la creación de sombras y en la irradiación recibida por el módulo. Se mide a partir del horizonte, con un valor de 0° y es positivo en el cenit.

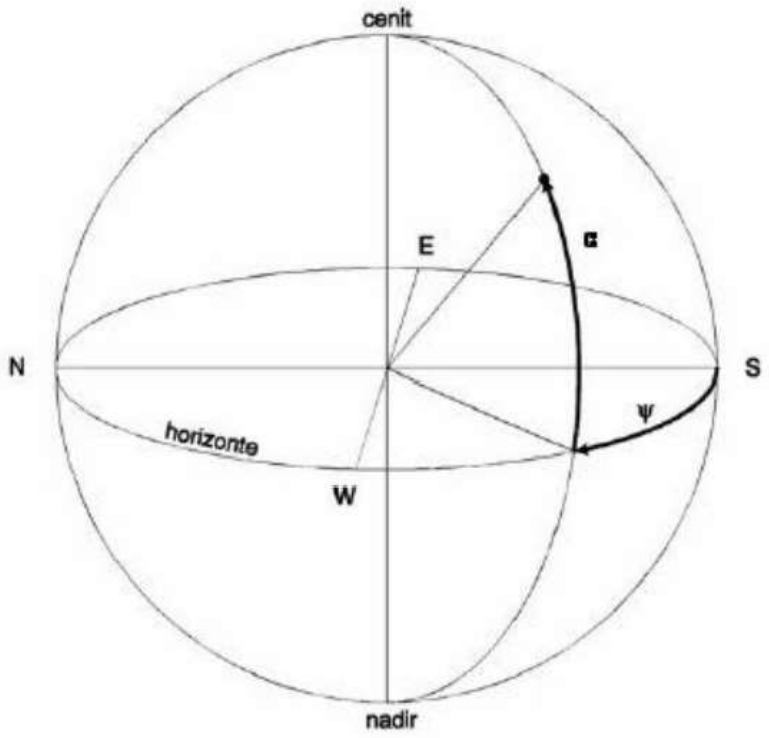


Figura 10. Geometría Solar.

Fuente: Radiación Solar, medidas y cálculos. Valeriano Ruiz y Manuel Silva (Universidad de Sevilla 2005)

2.2.2 Coordenadas Celeste Horarias

Los movimientos de rotación y traslación de la tierra provocan una variación en su posición relativa, debido a esto es necesario dar un seguimiento al sol a lo largo de los días.

Es menester definir dos parámetros:

- Ángulo horario, ω, es el ángulo comprendido entre el ecuador y el punto de intersección entre el meridiano superior del lugar y aquel, de 0° a ±180°, positivamente hacia el oeste.

- Declinación, δ, es el arco del círculo horario que pasa por el sol, comprendido entre el ecuador y el éste. Se cuenta a partir del ecuador de 0° a ±90°, positivamente hacia el polo norte y negativamente hacia el polo sur.

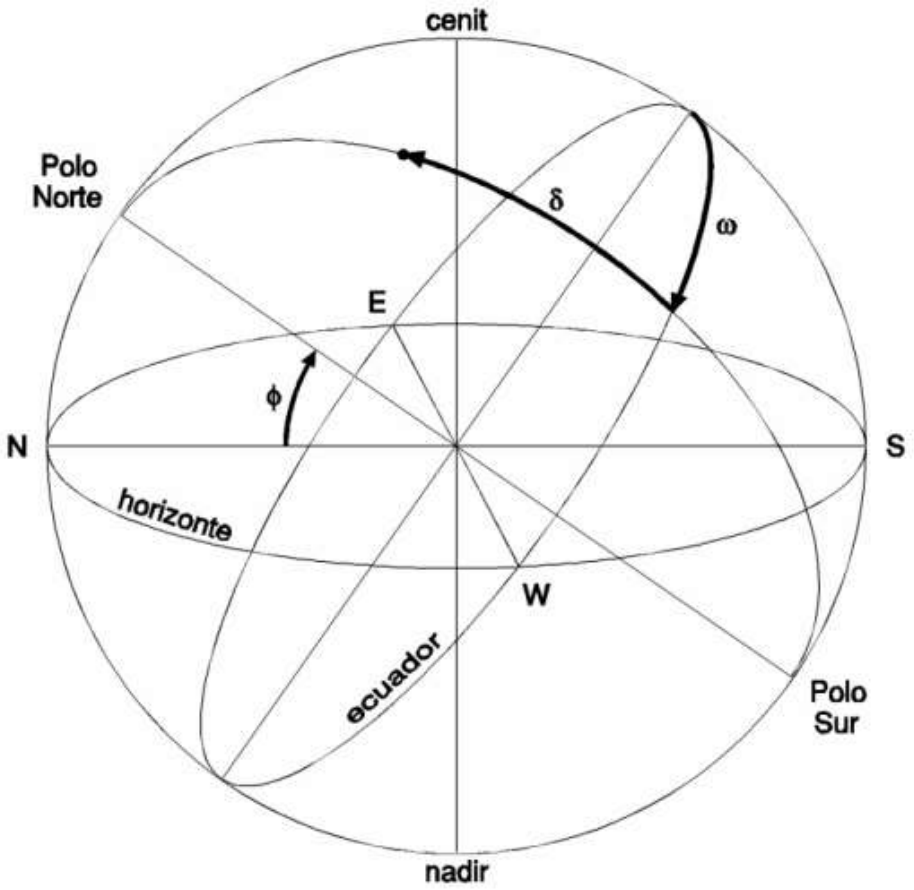


Figura 11. Coordenadas Celestes Horarias.
Fuente: Radiación Solar, medidas y cálculos. Valeriano Ruiz y Manuel Silva (Universidad de Sevilla 2005)

2.2.3 Recorrido de la radiación solar

Mientras menor sea la distancia del sol y la tierra, mayor será la radiación solar. Esto ocurre cuando el sol se encuentra con un ángulo α = 90° respecto a la tierra.

La masa de aire es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera.

$$AM= 1\cos 90°- \alpha$$

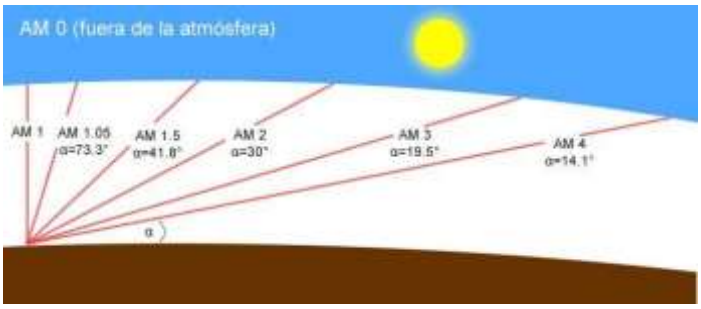


Figura 12. Valores referenciales de Aire-Masa en función de la altura solar. Fuente: Radiación Solar, medidas y cálculos. Valeriano Ruiz y Manuel Silva (Universidad de Sevilla 2005)

2.2.4 Horas de Sol Pico (H.S.P.)

Las horas de sol pico se definen como el número de horas diarias con una irradiancia hipotética de 1000 W/m2 que sumen la misma irradiación total que la real ese día. Cuando la irradiancia es expresada en kW-h/m2 es numéricamente similar a las horas de sol pico. Este concepto es importante, ya que junto con un

factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos.

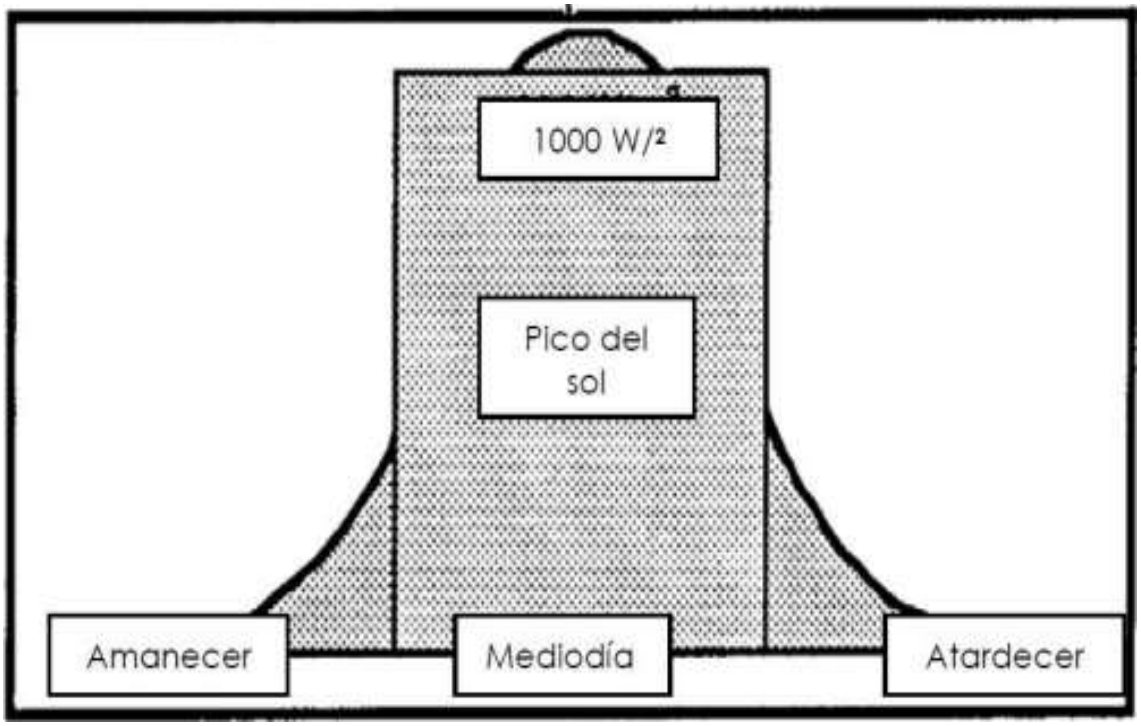


Figura 13. Distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas de sol.

Fuente: Selección de sistemas fotovoltaicos. Miguel Ángel Hadzich Marín.

2.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas

2.3.1 Sistema Fotovoltaico aislados

Generalmente se realizan en instalaciones de bombeo, electrificación rural, señalización y comunicaciones. Las ventajas de este tipo de instalación es que permite proporcionar energía eléctrica a lugares donde, de otra manera, no podría darse este suministro energético.

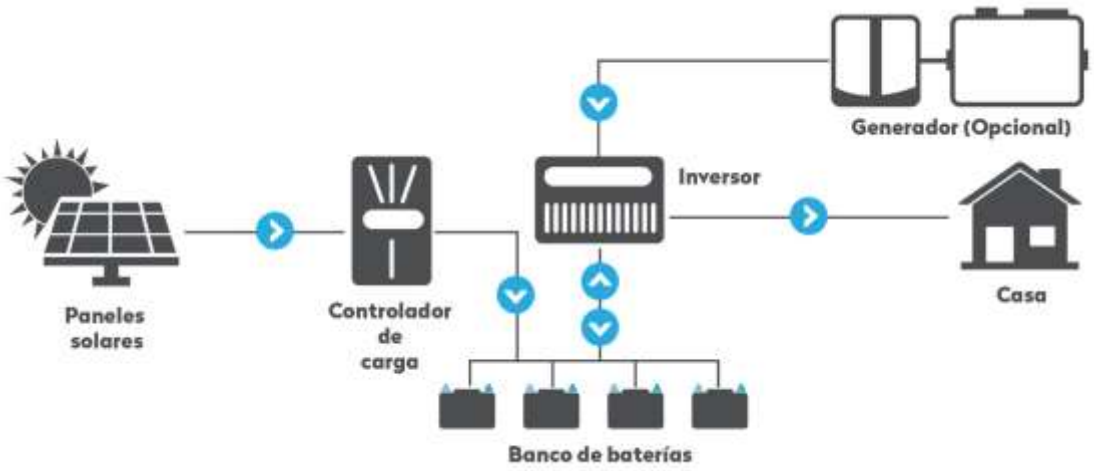


Figura 14. Gráfico de instalación fotovoltaica aislada.
Fuente: Empresa mexicana RSOLAR

2.3.1.1 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

2.3.1.1.1 Batería o acumulador

Los acumuladores son dispositivos electroquímicos, almacenan energía química y la transforman en energía eléctrica. Para el caso de instalaciones fotovoltaicas se emplean baterías recargables.

Los acumuladores eléctricos mantienen una diferencia de potencial entre sus dos polos gracias al proceso químico antes mencionado.

La base para un funcionamiento de un acumulador es el intercambio de electrones entre dos reacciones químicas, una reacción de oxidación y una reacción de reducción que inicialmente están separadas.

Al unirlas por un circuito eléctrico externo se produce el intercambio de electrones de la reacción de oxidación a la reacción de reducción, a través del circuito eléctrico exterior.

Los acumuladores recargables, lo que significa que cuando se descargan eléctricamente pueden ser cargadas nuevamente cuando son sometidas a una corriente eléctrica externa.

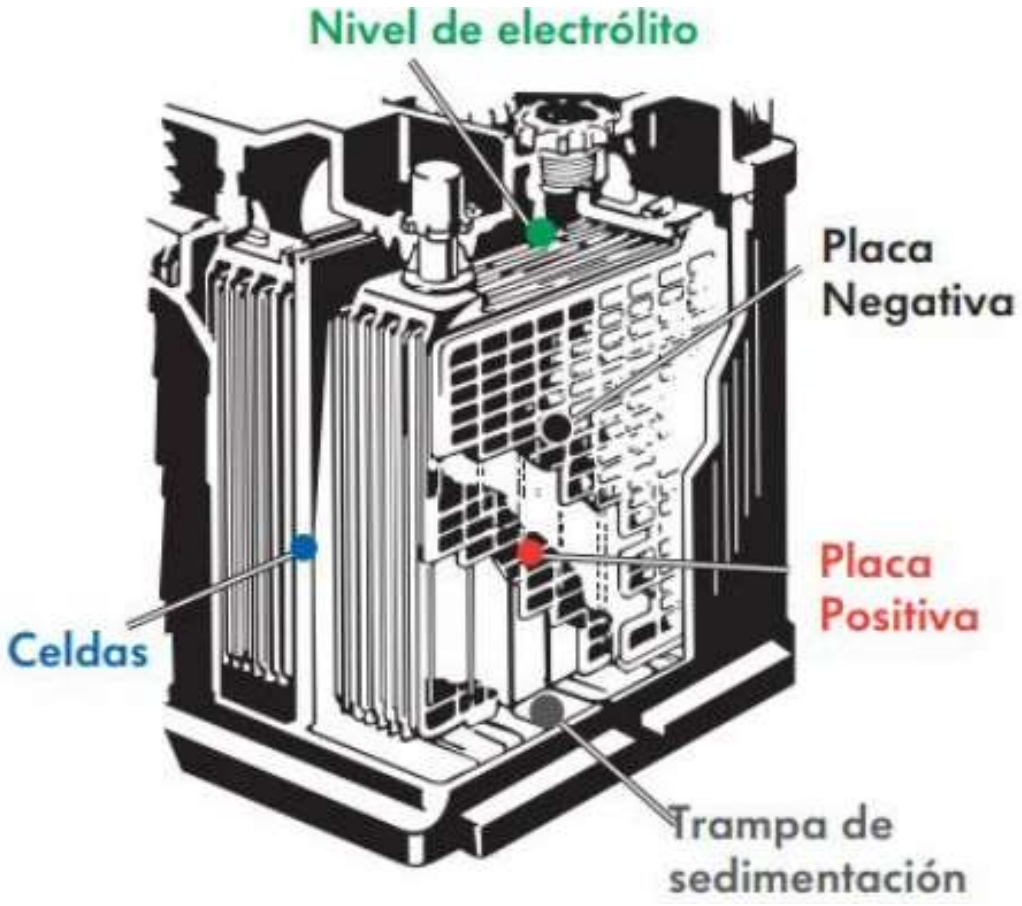


Figura 15. Partes de una batería.
Fuente: "Funcionamiento y sistema de carga". Catálogo de baterías Hellamex.

Placas: Son conductores metálicos de diferente polarización, con lo cual permiten un flujo de electrones.

Electrolito: Puede ser líquido, sólido o en pasta, es un conductor iónico que se descompone al pasar la corriente eléctrica.

Para determinar el comportamiento de las baterías los parámetros a considerar son los siguientes:

Capacidad de descarga (Ah): Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. Se expresa en amperios-hora.

Profundidad de la descarga: Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas es común utilizar baterías de descarga profunda, es decir, descargas entre 75% - 80 %.

Vida útil en ciclos: Es la cantidad de cargas/descargas que llega a tener la batería. La vida útil depende del espesor de las placas, concentración del electrolito y principalmente de la profundidad de descarga.

Los siguientes son los principales tipos de baterías:

a) Plomo-Ácido: Son baterías empleadas en aplicaciones en las cuales el peso y tamaño son factores decisivos.

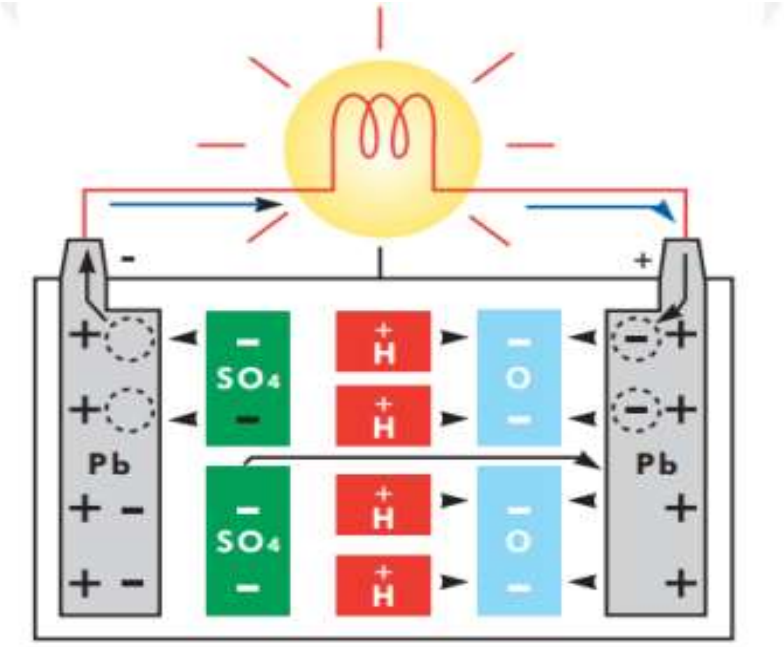


Figura 16. Funcionamiento de batería de plomo-ácido
Fuente: "Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500Wp" Minem 2005

Las capacidades de servicio típicas son de 1-10,000 Ah. Requieren de un mantenimiento considerable y se debe proporcionar una adecuada ventilación y protección contra ambientes corrosivos, debido al electrolito (ácido).

Existen tipos de baterías de plomo que permiten colocar las baterías en cualquier posición, estas son las selladas y de electrolito absorbido.

Se subdividen en tres tipos de categoría de baterías plomo-ácido:

- **Plomo-Calcio.**
- **Plomo-Selenio.**
- **Plomo-Antimonio.**

b) Níquel-Cadmio: Estas baterías se caracterizan por tener un electrolito alcalino, bajo coeficiente de autodescarga, alto rendimiento de absorción de carga (mayor a 80%) y alto costo comparativo.

2.3.1.1.2 Unidad de control o regulador

Un regulador de carga solar se coloca entre el campo fotovoltaico y el campo de baterías. Se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre ambos equipos. Evita la descarga de las baterías sobre los paneles utilizando un diodo. También cuida la vida útil de la batería monitoreando la diferencia de potencial de la batería, se desconecta al llegar a 14.8V y se debe recargar al llegar al valor 10.8V.

Existen tres estados de carga posibles:

- **Fase BULK**

La batería está descargada y toda la corriente producida en el campo fotovoltaico es inyectada en las baterías, incrementándose la tensión en la batería a medida que ésta se va llenando.

- **Fase ABSORCIÓN**

Cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción (en las baterías de plomo-ácido abiertas 14,4V y en las baterías AGM y en las baterías GEL 14,1V), el regulador de carga solar mantiene la tensión ligeramente por debajo de dicho valor y va reduciendo la corriente hasta que la batería está prácticamente llena.

- **Fase de FLOTACIÓN**

En esta fase la tensión se reduce a la tensión de flotación (generalmente 13,5 V) y la corriente inyectada se reduce hasta que la batería se llena por completo

Toda la energía que se genere mayor a la energía que es posible inyectar en la batería se pierde por efecto Joule (calor) en el regulador.

Figura 17. Imagen de un Regulador de Carga Solar.
Fuente: Catálogo de productos de Renova Energía.

2.3.1.1.3 Elementos de protección

Se puede contar con sistemas de protección externos, los cuales pueden ser desconectadores térmicos ya sean fusibles o relés, protección contra las altas tensiones tanto para corriente alterna como para corriente continua y diodos.

Figura 18. Relé de protección.
Fuente: Catálogo del distribuidor Secoin.

Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80 % de la capacidad nominal del fusible.

Figura 19. Fusible de 15 A.
Fuente: Tienda en línea Steren.

2.3.2 Sistema Fotovoltaico Conectado a la red.

Se emplea para el autoconsumo y para la venta de energía eléctrica. Su versatilidad les permite instalarse en diferentes lugares tales como naves, viviendas y cualquier otra infraestructura donde, a pesar de haber suministro eléctrico por parte de alguna compañía, se desea reducir el consumo para disminuir el importe de factura.

En este caso, el suministro eléctrico existente se sustituye en gran parte por paneles fotovoltaicos, paneles solares, placas fotovoltaicas o células solares, que son capaces de transformar la energía procedente de la radiación solar en energía eléctrica.

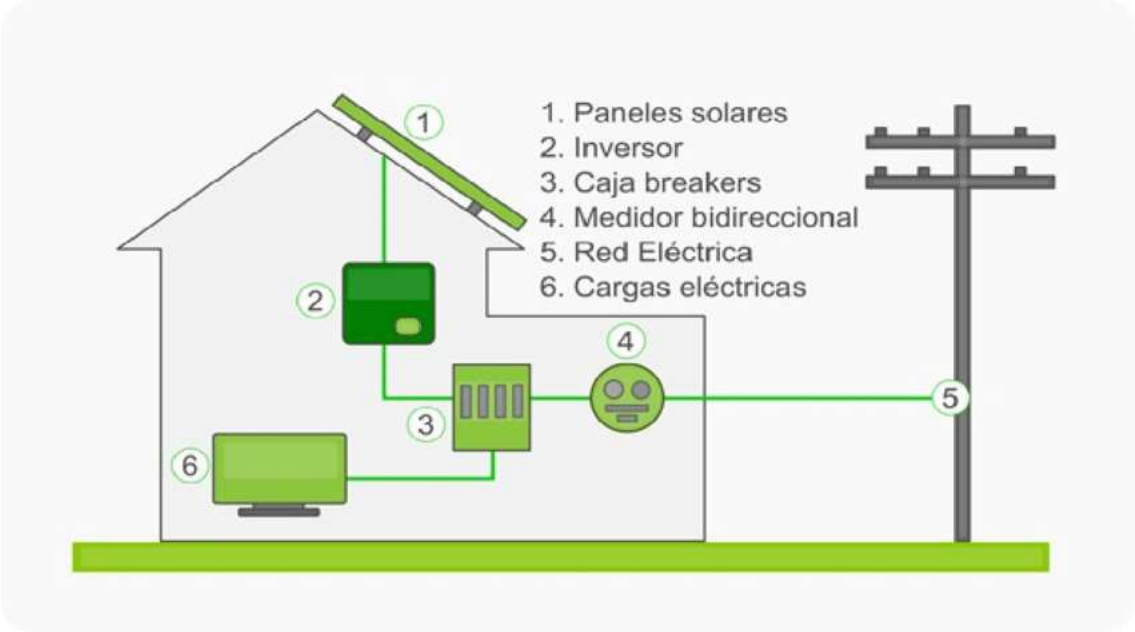


Figura 20. Gráfico de Instalación fotovoltaica conectada a la red.
Fuente: Página web Researchgate.net

Ventajas

La principal ventaja de este tipo de instalación es que los usuarios se ahorran los costos de baterías y no necesita un sistema de soporte para generar electricidad. La instalación de paneles solares supone beneficios económicos, sociales y

ambientales responsables. Y es que se genera una energía sustentable, así que no hay acciones que afecten a las generaciones futuras.

La vida útil de los sistemas solares fotovoltaicos ronda los 20 años, además que el mantenimiento es sencillo y de bajo costo. Solo es necesario limpiar la suciedad que se aloja en los módulos fotovoltaicos sería suficiente, realizando esto mínimo dos veces a la semana mantendrá en buen funcionamiento el sistema fotovoltaico.

Con un panel solar se reducen las emisiones de CO2 lo que supone un menor impacto ambiental. Además, reduce el consumo de energía eléctrica proveniente de sistemas convencionales que resultan contaminantes e impactantes, además de no poder renovarse.

Otra ventaja de la instalación de energía fotovoltaica es que tiene un tiempo de recuperación corto si se compara con su vida útil. Por lo general, estos sistemas tienen un tiempo de recuperación de entre 3 y 7 años, pero todo dependerá de la tarifa del usuario.

2.3.3 Componentes generales de un sistema fotovoltaico.

Sabemos que un sistema fotovoltaico permite la generación de electricidad a través de la radiación solar. Mediante las instalaciones solares fotovoltaicas se puede aprovechar el sol como fuente de energía gratuita, resultando la energía solar completamente favorecedora para el medio ambiente.

2.3.3.1 Panel Fotovoltaico.

Un panel fotovoltaico son placas que están formadas por un conjunto de células fotovoltaicas que convierten la radiación solar en corriente eléctrica. Su conexión puede ser en serie para aumentar la intensidad o en paralelo para incrementar la diferencia de potencial.

Para el ensamblaje de un panel fotovoltaico se utilizan metales (buenos conductores), vidrios y soldadura certificados con altos estándares.

Es un requisito que los módulos sean fabricados de acuerdo con la norma internacional IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo” o equivalente.

Ésta norma establece las pruebas necesarias para evaluar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico
- Requerimientos eléctricos
- Parámetros de rendimiento
- Requerimientos térmicos
- Requerimientos de irradiación
- Requerimientos ambientales
- Requerimientos mecánicos
- Protecciones

2.3.3.1.1 Tipos de paneles fotovoltaicos.

Paneles Solares Monocristalinos

Estos paneles son fabricados con silicio de alta pureza esto les permite ofrecer índices de alta eficiencia, suele ser entre 15% y 20%. Una de sus principales ventajas es que tiene gran potencia. Son dispositivos con una larga vida útil y debido a su tamaño suelen ser ideales para instalaciones en viviendas.

Paneles Solares Policristalinos

Una de las características destacables que permiten diferenciarlos de los paneles monocristalinos es su color azul. Se fabrican a partir del silicio en bruto lo que afecta directamente su desempeño reduciendo su potencia y eficiencia. Sin embargo, su precio es más accesible. Su instalación no es recomendada para exposiciones a altas temperaturas debido a su sensibilidad. Son de un tamaño mayor al de los paneles monocristalinos.

Paneles Solares amorfos o de capa fina

Estos tipos de placas solares utilizan materiales como el silicio amorfo, el telururo de cadmio o el galio, con propiedades fotovoltaicas. De esta forma, se consigue fabricar un panel flexible y ligero. Su eficiencia es menor que la de las placas fotovoltaicas convencionales, entre un 7 y un 10%, su vida útil es menor y requieren mucho más espacio. Sin embargo, su coste es más económico, por lo que su uso es habitual en grandes instalaciones, como industrias o instalaciones públicas.

2.3.3.1.2 Células fotovoltaicas.

El funcionamiento de la célula fotovoltaica hace posible la obtención de electricidad a partir de la luz solar. Están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de la radiación y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo negativo, esto genera un voltaje interno, el cual produce una corriente debido a la presencia de una resistencia.

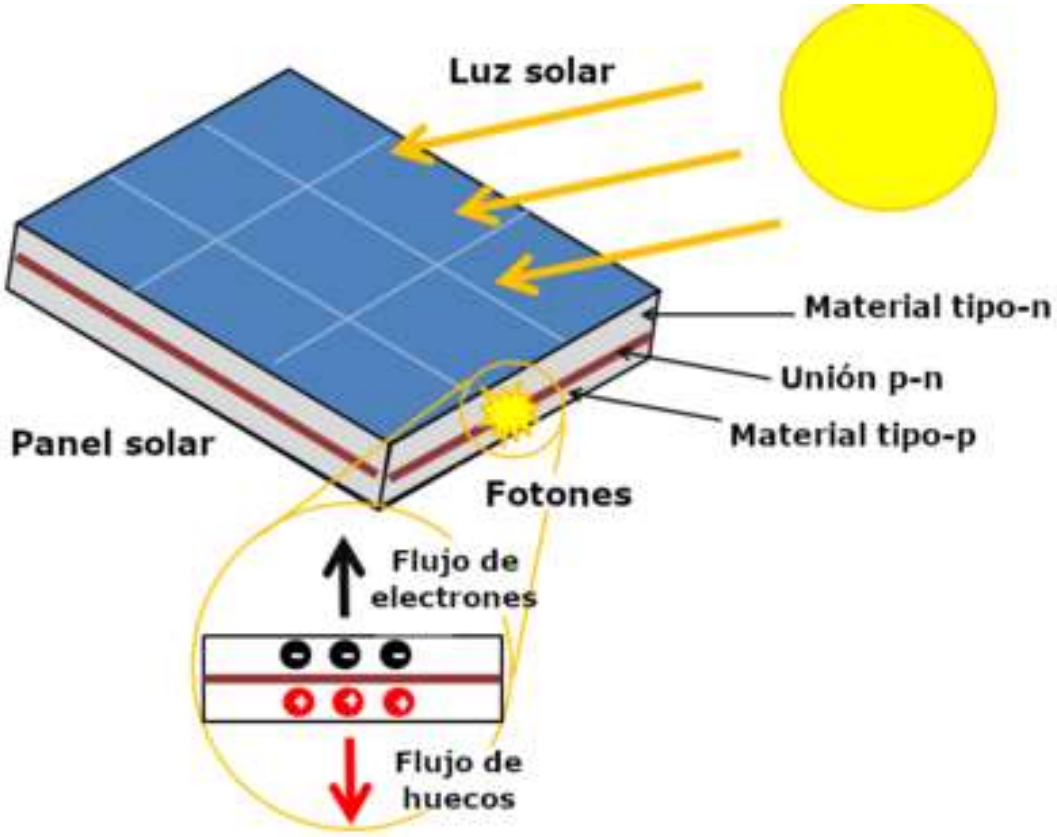


Figura 21. Diagrama que muestra el efecto fotovoltaico.
Fuente: energyeducation.ca

En la actualidad, existen varios tipos de células fotovoltaicas con diversas tecnologías, se debe escoger la más apropiada debido a que cuentan con diferentes propiedades, dicha selección se debe hacer en base a los siguientes factores:

- **Cristalinidad:** Indica el grado de orden en la estructura cristalina de los átomos de silicio. Puede ser monocristalino, policristalino o amorfo.

- **Coeficiente de absorción:** Indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbida por el material. Esto depende del material de la célula y de la longitud de onda de la luz.

- **Costo y complejidad de fabricación:** Depende de un gran grupo de factores, número de pasos implicados, necesidad de ambiente especial, cantidad y tipo de material.

Tecnología	Eficiencia del Módulo
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Tabla 1. Eficiencia de células fotovoltaicas

Fuente: Handbook for Solar Photovoltaic Systems.

La eficiencia de la célula de Silicio monocristalina es la más alta, sin embargo, tienen un alto costo de producción. Que es un factor para tomar en cuenta en la selección de la tecnología.

2.3.3.1.3 Parámetros Característicos.

En las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, dichos parámetros son los siguientes:

- Irradiancia 1000W/m2
- Temperatura del módulo 25°C
- AM 1.5

El voltaje e intensidad producida por los paneles fotovoltaicos varía en función de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo.

2.3.3.1.4 Curvas Características.

Los paneles fotovoltaicos tienen curvas características en las que se muestra el funcionamiento de los paneles y el efecto que ejercen los cambios de temperatura y radiación.

- **Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión.**

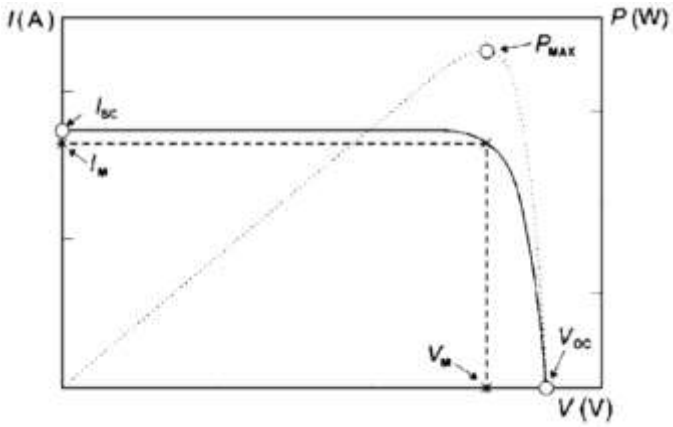


Figura 22. Curva I vs V/P vs V
Fuente: Photovoltaic Industrial Systems. Papadopoulou 2011

La figura anterior muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el punto de máxima potencia (PMP), aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito (Icc).

- **Efecto Temperatura.**

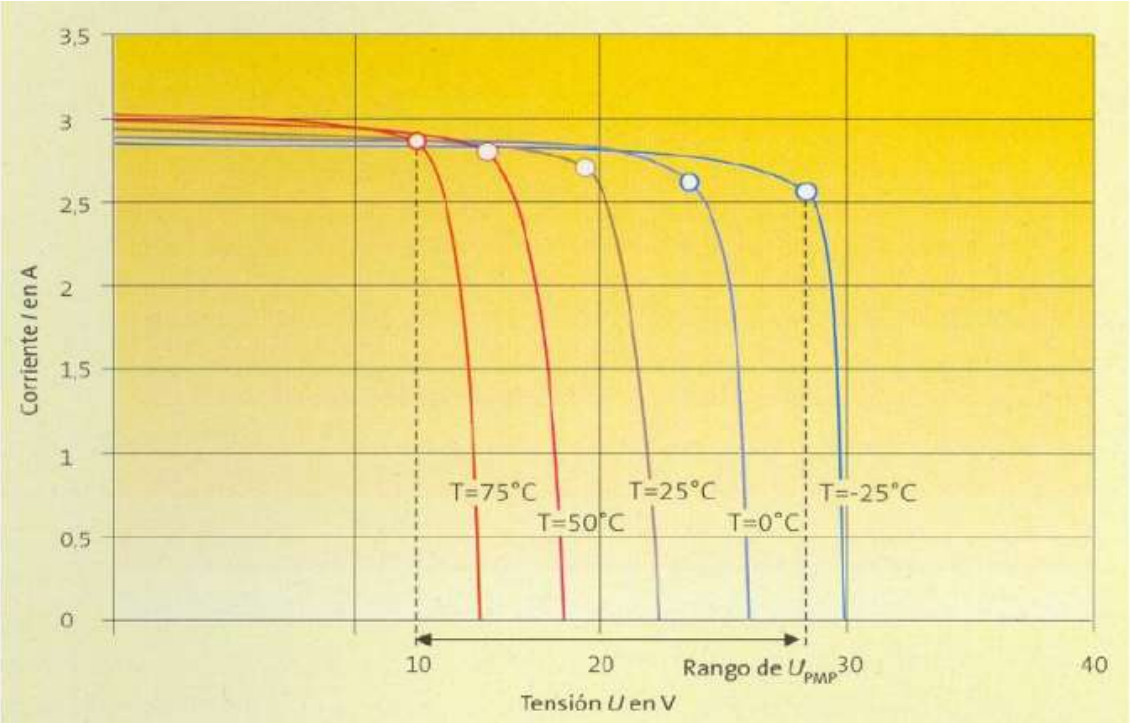


Figura 23. Efecto Temperatura

Fuente: Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1.1 MW. Roger Guardiola 2008

La ilustración anterior muestra que conforme disminuye la temperatura, aumenta la tensión de salida al igual que la potencia, la corriente se mantiene casi de forma constante. Este efecto se debe a que las propiedades del silicio varían con la temperatura.

- **Efecto de la Radiación.**

A mayor radiación, el panel produce una potencia mayor. Este efecto se muestra en la siguiente ilustración:

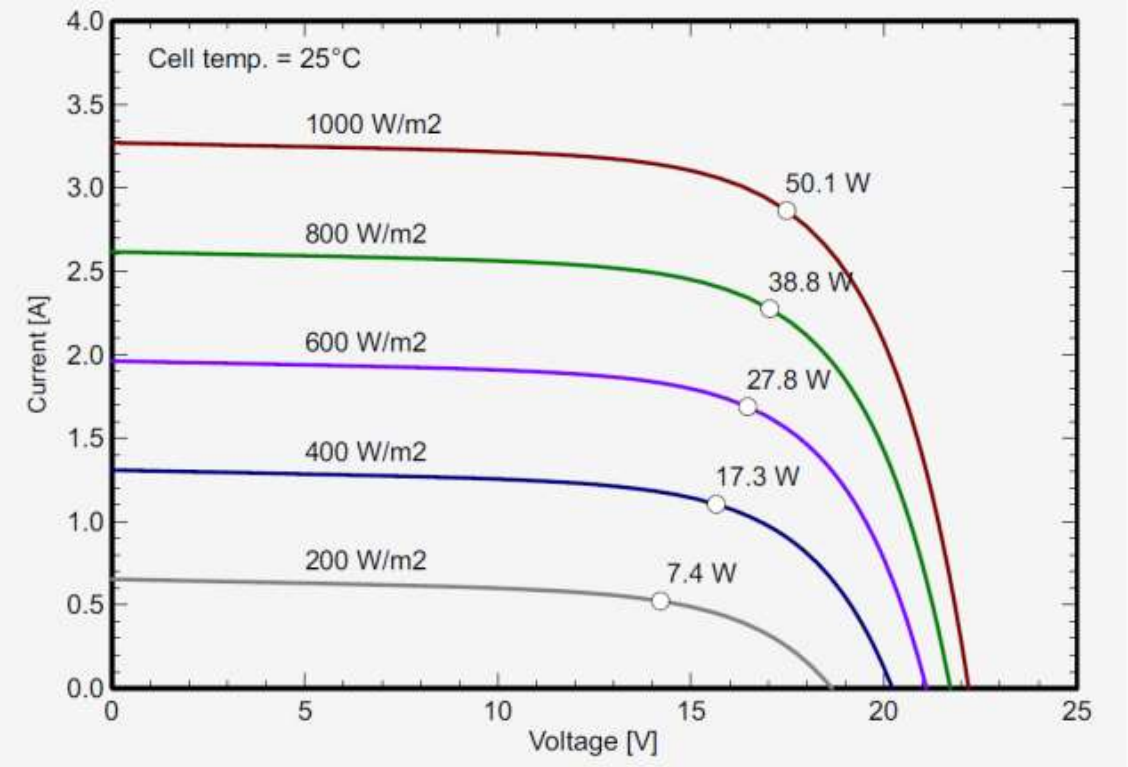


Figura 24. Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed.
Fuente: Hoja de datos técnicos ESm50-156. Panel 50Wp EverExceed.

2.3.3.1.5 Efectos Sombras.

Las sombras afectan la potencia entregada como para la vida útil de los paneles fotovoltaicos. Es siempre recomendable evitar sombras en los paneles.

Es recomendable que exista una distancia mínima entre muro, árbol y un panel solar.

Esto es posible calcular con la siguiente fórmula:

$$dmin=Hd$$

Donde (d) es la distancia entre el panel fotovoltaico y cualquier objeto causante de sombra y (H) es la altura del objeto causante de sombra sobre el panel. Esto

garantiza que los paneles se encuentren libres de sombras durante al menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.

2.3.3.2 Inversores

Un inversor solar fotovoltaico es un equipo que se encarga de transformar la energía producida en una instalación fotovoltaica, que se transmite en forma de corriente continua, en corriente alterna para suplir una demanda energética.

Se basan en dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.

2.3.3.2.1 Tipos de inversores:

Inversores de Onda Sinusoidal

Son los inversores que se usan regularmente en instalaciones residenciales, debido a que es el que mejor se adaptará siempre a los aparatos electrónicos domésticos que utilizan corriente alterna que permitirán un correcto funcionamiento.

Figura 25. Inversor de onda Sinusoidal Pura
Fuente: Catálogo en línea de Intelbras.com

Inversores de Onda Senoidal modificada

Para la mayoría de los equipos, especialmente los aparatos que tengan motor eléctrico, por ejemplo, bombas de agua, equipos industriales como tornos y fresadoras y taladros, estos inversores se adaptan mejor a sus especificaciones.

Inversores de conexión a red y de batería

Dentro de la familia de inversores podemos diferenciar entre los inversores de conexión a red, que consigue sincronizar los niveles de la energía producida por el campo fotovoltaico con la red pública, o los inversores de batería, que junto con la inyección de energía a las baterías también regulan el paso dicha energía almacenada al sistema eléctrico de los hogares/negocios/sistemas fotovoltaicos.

Figura 26. Inversor de conexión a red Must.
Fuente: Catálogo de aparatos inversores solar Must Energy.

Inversores monofásicos y trifásicos

Dentro de los inversores de conexión a red, disponemos de dos posibilidades de conexión en las instalaciones. Así encontramos las instalaciones monofásicas, en las que la corriente fluye por un solo conductor y se suele utilizar en instalaciones domésticas, para cargas de iluminación y pequeñas fuentes de alimentación. Por otra parte, las instalaciones trifásicas disponen de tres conexiones, más finas y baratas, que emiten potencia constante, y no de pulsos, que elevan el rendimiento de los equipos.

2.3.3.3 Cables

El cable fotovoltaico, como su nombre indica, está diseñado exclusivamente para ser empleado en instalaciones fotovoltaicas. Su conductor es de cobre electrolítico estañado que permite una gran conductividad, además cuentan con doble aislamiento lo que proporciona una mayor resistencia a los factores meteorológicos como la radiación solar directa o temperaturas extremas.

Estos aislamientos están hechos con materiales autoextinguibles que evitan la llama y también evitan la propagación de gases nocivos en caso de incendio.

Estos cables son unipolares, al contrario que el cableado de corriente alterna, no se fabrican agrupados en manguera.

2.3.3.4 Estructura de soporte

La estructura seleccionada depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto.

2.3.3.4.1 Sistema Fijo

Para el sistema fijo es necesario realizar un estudio que determine el grado de inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica.

Una de las principales ventajas del sistema fijo es que tiene una mayor duración de su vida útil.

Debido a que no se puede variar la inclinación del sistema fotovoltaico, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación.

Figura 27. Estructuras fijas de paneles solares.
Fuente: Página web Alusíns Solar

2.3.3.4.2 Seguidores solares

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesita realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad.

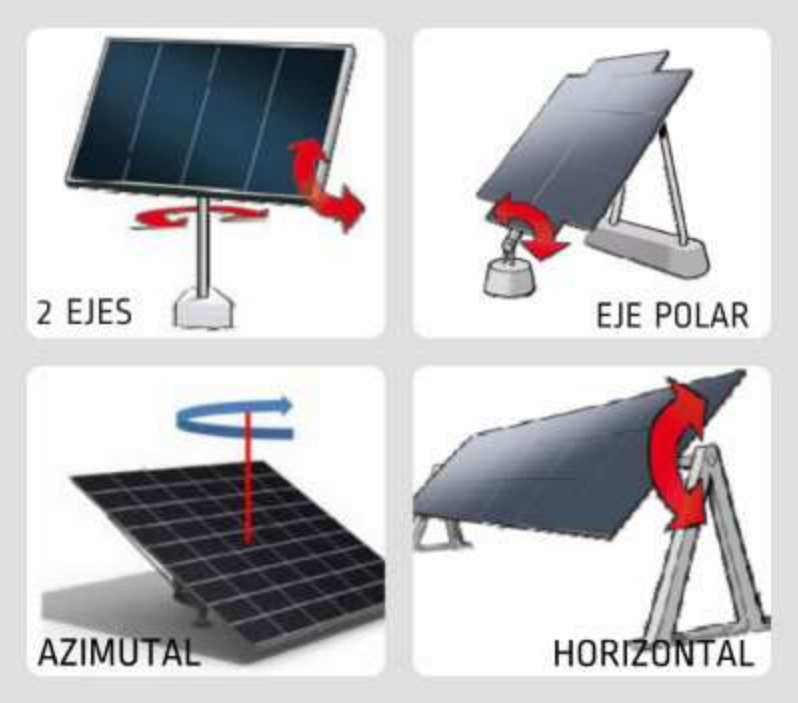


Figura 28. Tipos de estructuras seguidas solares.

Fuente: Organización Industrial blogs.udima.es

III. DISEÑO METODOLÓGICO

En este trabajo monográfico se empleará un método de investigación aplicado con enfoque cuantitativo, mediante el cual se pretende presentar una forma de reducir el impacto del consumo energético en la facturación energética de la Facultad de Tecnología de la Industria a través de la recopilación y análisis de datos.

Las fuentes para utilizar son de tipo primario y secundario, debido a que se utilizará información obtenida a través de la medición directa de los paneles ubicados en el recinto. Algunos datos fundamentales de censo de carga serán obtenidos recorriendo las instalaciones, guiados por información previamente concebida.

Las técnicas y métodos de recolección de información empleadas en ésta investigación son las siguientes:

- Planteamiento del problema.
- Visita de campo.
- Recolección de información.
- Revisión bibliográfica.
- Clasificación de información obtenida.

Una vez todos estos datos hayan sido compilados y organizados, se procederá a diseñar una propuesta de sistema fotovoltaico para la Facultad que permita reducir costos en la facturación energética de la misma.

IV. DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Diseño de Módulo Fotovoltaico

Nicaragua tiene un promedio anual entre 4.5 y 5.5 $\frac{kWh}{m^2}$ por día (figura SOLARGIS irradiancia directa normal).

A través del software POWER Data Access Viewer de la NASA obtuvimos la siguiente gráfica con valores de irradiancia para el FTI durante el período enero 2020 hasta diciembre de 2021, cuyas coordenadas son 12°08'11.3"N 86°13'24.9"W.

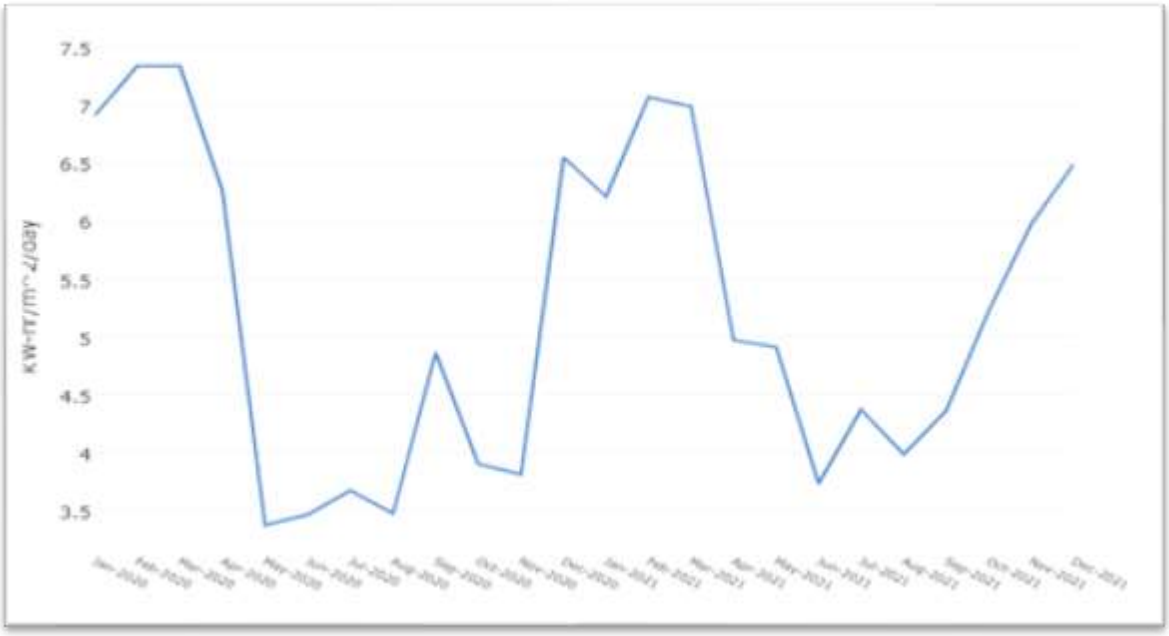


Figura 29. Irradiancia Directa Normal (01/01/2020 – 01/12/2021).
Fuente: NASA POWER Data Access Viewer.

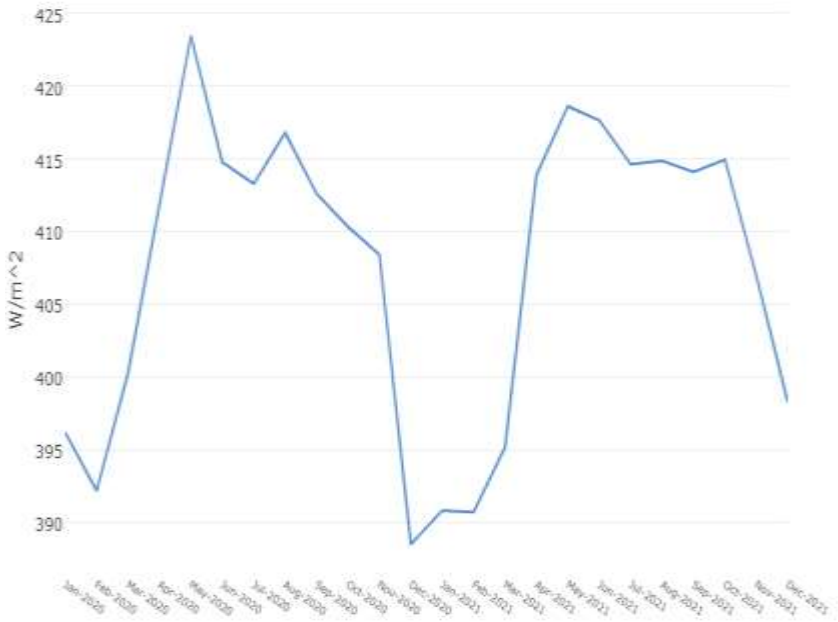


Figura 30. Irradiancia de Onda larga (01/01/2020 – 01/12/2021).
Fuente: NASA POWER Data Access Viewer.

Empleamos un software para el cálculo de irradiancia de **PVeducation** para obtener valores adicionales de irradiancia y determinar el ángulo de inclinación óptimo para los paneles.

En la siguiente gráfica se muestra la intensidad de la radiación directa en W/m² durante todo el día en un año completo para la latitud 12 correspondiente a la ubicación del recinto.

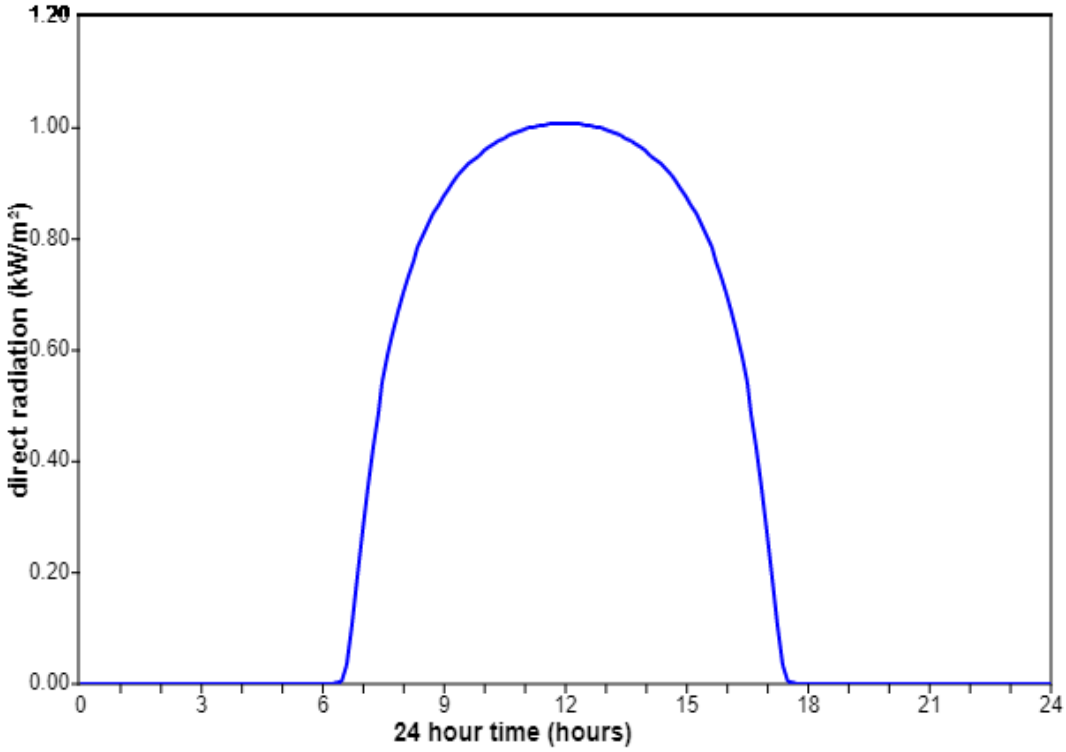


Figura 31. Irradiancia en días de menor horas de sol

Fuente: Software en línea https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/c%C3%A1lculo-de-la-insolaci%C3%B3n-solar

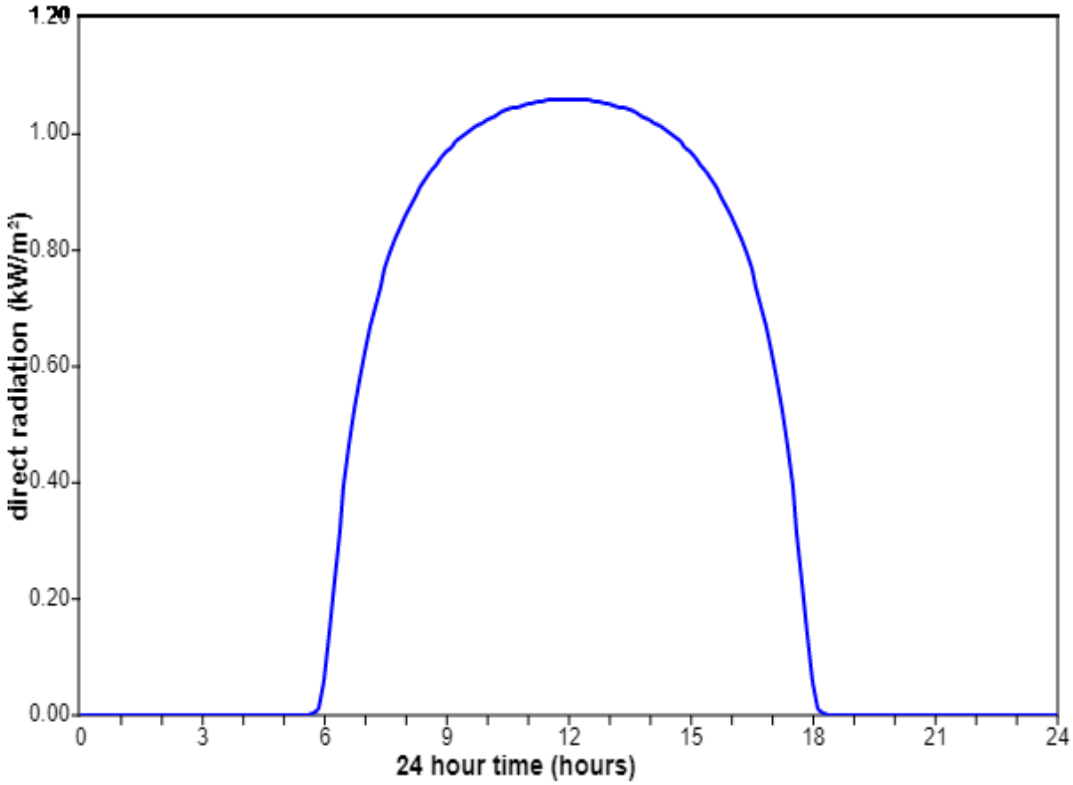


Figura 32. Irradiancia en días de mayores horas de sol

Fuente: Software en línea https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/c%C3%A1lculo-de-la-insolaci%C3%B3n-solar

Mediante los gráficos anteriores entendemos que el periodo comprendido entre las 7:00 am y 5:00 pm es el que brinda mejor provecho a las horas de sol.

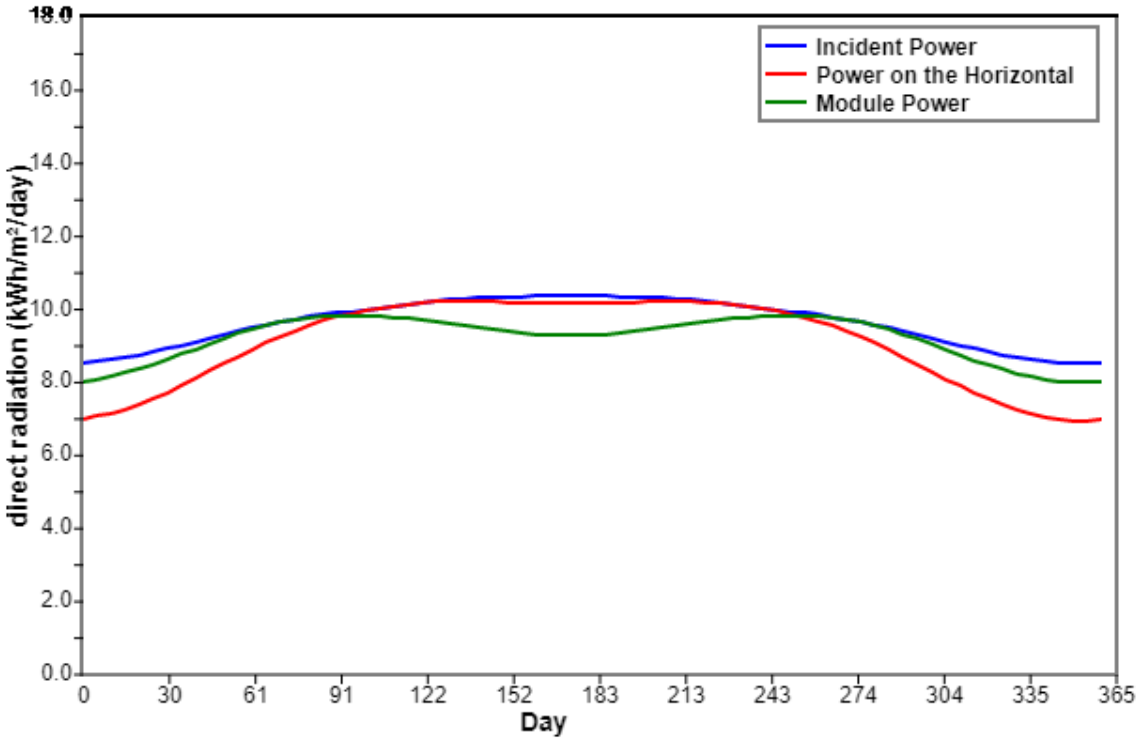


Figura 33. Irradiancia directa con paneles a 15° de inclinación.

Fuente: Software en línea https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/c%C3%A1lculo-de-la-insolaci%C3%B3n-solar

En la gráfica anterior podemos apreciar 3 curvas particulares que describen la irradiación directa. La curva azul es la potencia incidente a lo largo de 365 días en la latitud 12. La curva roja es la potencia en caso de que los paneles fueran colocados de forma horizontal y la curva verde representa la potencia para el módulo cuya inclinación es de 15° con orientación hacia el sur.

Se seleccionó el ángulo de inclinación 15° debido a que es el que mejor aprovecha la irradiación a lo largo de un año comparándolo a las demás curvas.

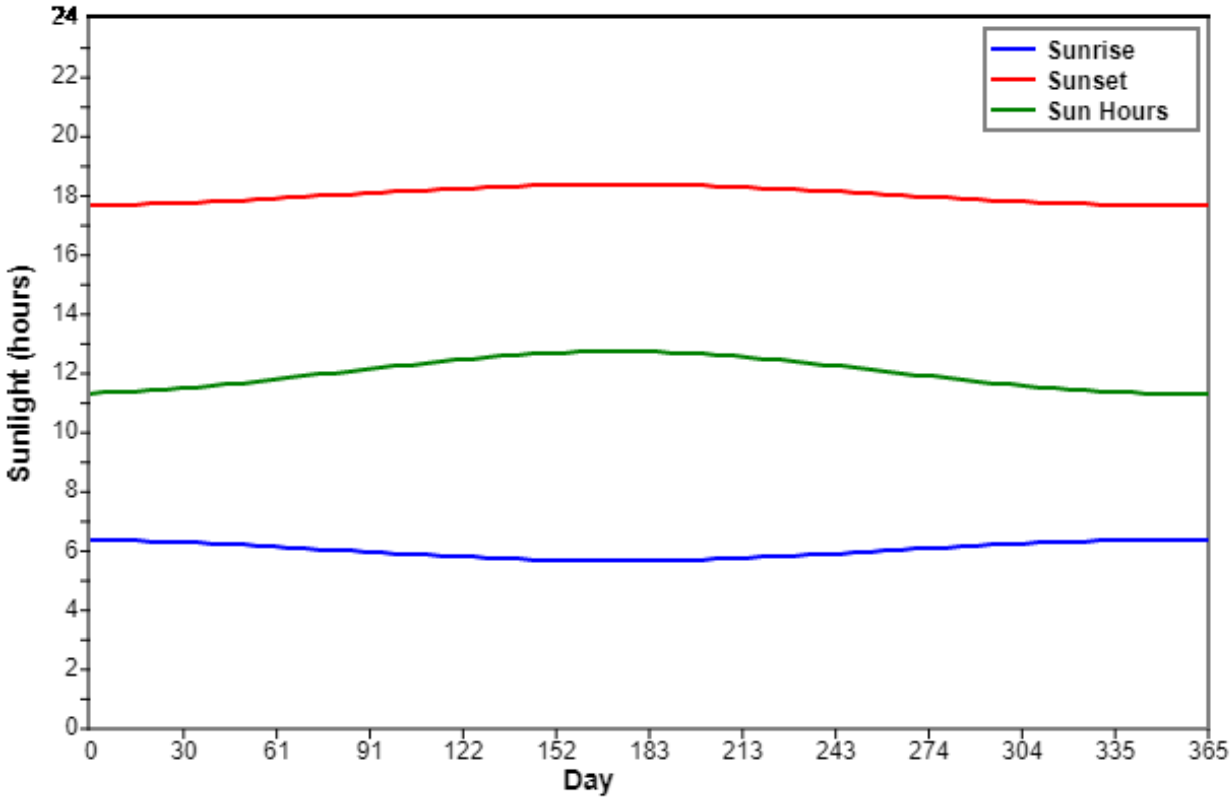


Figura 34. Horas de sol (Amanecer, Atardecer, Horas de sol latitud 12)

Fuente: Software en línea https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/c%C3%A1lculo-de-la-insolaci%C3%B3n-solar

4.2 Censo de carga

Decidimos realizar un censo de carga de los aires acondicionados con el objetivo de encontrar una aproximación a la carga demandada por estos equipos y contrastarlo con un estudio realizado el año 2021.

El estudio fue realizado en todo el recinto con el objetivo de llevar a cabo una auditoría energética del recinto.

A continuación, encontramos una tabla con los detalles del banco de transformador N° 6 correspondiente al edificio de la Facultad de Tecnología de la Industria:

NO. BANCO DE TRANSFORMADOR	BDI _ TRANSFORMADORES	CAPACIDAD BANCO DE TRANSFORMADOR	UBICACIÓN BANCO DE TRANSFORMADOR	NOMBRE DE AREA	NOMBRE DE EDIFICIO
BT06	57885;57886;57887	100 KVA (X3)	Costado Norte FTI (Piso)	Secretaria	FTI PB
				Vicedecanatura	FTI PB
				Baños	FTI PB
				Centro de computo (CCMM)	FTI PB
				Coordinacion de extension	FTI PB
				Sala especializada	FTI PB
				Centro de documentacion	FTI PB
				Escuela de mecanica	FTI PA
				Escuela de Industrial	FTI PA
				Decanatura	FTI PA
				Delegacion administrativa	FTI PA

Tabla 2. Banco de transformador #06.

Fuente: Elaboración Propia.

Primero se procedió a hacer un censo de carga de los equipos de oficina en cada una de las áreas correspondientes al banco de transformador #06. La tabla con los equipos de oficina se muestra en los anexos, específicamente el anexo 11.

Se obtuvo que, en un escenario de carga máxima a lo largo de un mes, la facultad consume un total de 12,279.34 kWh en equipos de oficina, aproximadamente.

En el siguiente gráfico podemos apreciar los consumos mensuales que se realizan en cada banco de transformador del recinto, únicamente en equipos de oficina.

Etiquetas de fila	Suma de CONSUMO MENSUAL
BT01	4347.966
BT02	14017.4716
BT03	22078.22068
BT04	12452.2442
BT05	5521.1772
BT06	12279.33736
BT07	793.5356
BT08	1620.1724
BT09	6300.2863
BT10	1651.9074
Total general	**81062.31874**

Tabla 3. Consumo mensual por equipos de oficina en el RUPAP.

Fuente: Elaboración Propia.

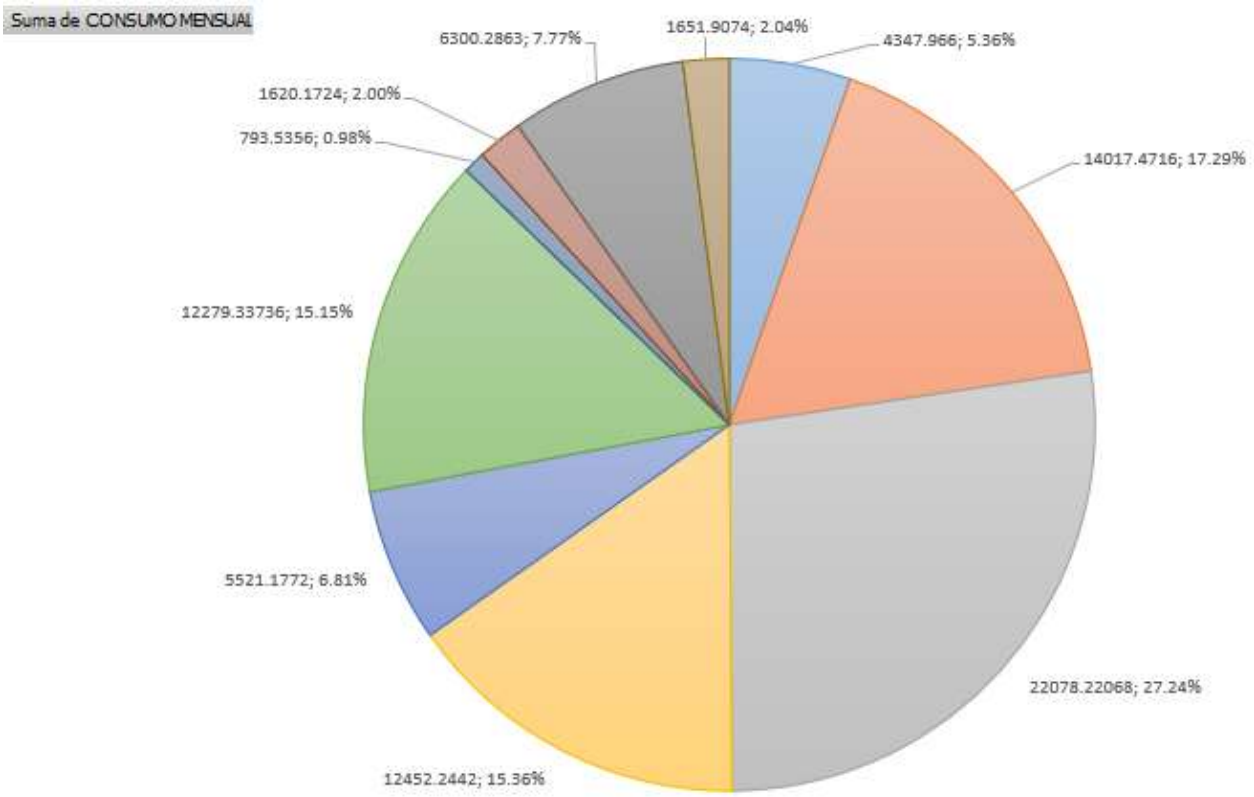


Gráfico 35. Gráfico dinámico de consumo mensual de equipos de oficina del RUPAP.

Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico anterior podemos apreciar que el consumo mensual del edificio FTI corresponde a un 15.15% del total consumido en el RUPAP.

Luego se elaboró una tabla con los equipos de línea blanca en el edificio FTI con los siguientes resultados:

NO. BANCO DE TRANSFORMADOR	NOMBRE DE AREA	EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD	USO (HORAS/DIA)	POTENCIA UNITARIA (KW)	VOLTAJE (V)	POTENCIA TOTAL (KW)	CONSUMO DIARIO (KWH/DIA)	CONSUMO MENSUAL (KWH/MES)
BT06	Secretaria F.T.I.	Cafetera	HamiltonBeach	40514R	1	2	753	120	753	9.036	23.49
BT06	Secretaria F.T.I.	Microonda	Sankey	MW773M	1	1	01.05	120	01.05	0.63	16.38
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Refrigerador	Sankey	RF-755	1	24	0.15	100-240	0.15	2.16	56.16
BT06	Coordinacion de investigacion	Cafetera	Oster	BVSTDC3392	1	2	1	120	1	1.2	31.2
BT06	Escuela de industrial	Cafetera	Black+Decker	BVSTDCP12B	1	2	975	127	975	1.17	30.42
BT06	Delegacion Administrativas	Cafetera	Black+Decker	BVSTDCP12B	1	2	975	127	975	1.17	30.42
BT06	Delegacion Administrativas	Microonda	LG	MS-0748T	1	1	01.08	120	01.08	648	16.848

Tabla 4. Censo de carga de equipos de línea blanca en edificio FTI.
Fuente: Elaboración Propia.

Elaboramos otra tabla dinámica con los equipos de línea blanca que se censaron en todo el recinto:

Banco de transformadores	Suma de CONSUMO MENSUAL
BT01	1672.1952
BT02	3100.44072
BT03	344.604
BT04	2124.106483
BT05	28.86
BT06	204.9216
BT07	23.4936
BT08	12.48
BT09	3421.747633
BT10	44.46
Total general	**10977.30924**

Tabla 5. Consumo mensual por equipos de línea blanca en el RUPAP.
Fuente: Elaboración Propia.

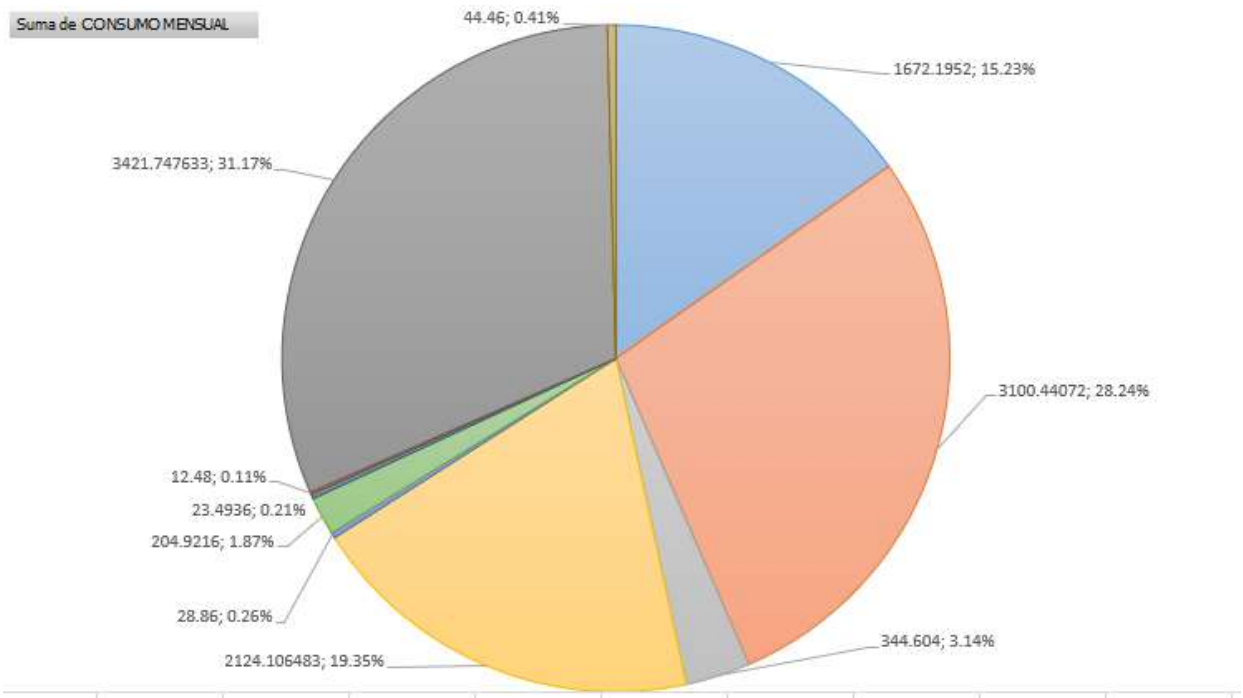


Figura 36. Gráfica dinámica del consumo mensual de los equipos de línea blanca en el RUPAP.

En el gráfico anterior se aprecia que el consumo en el edificio FTI respecto a los equipos de línea blanca en el total del recinto corresponde a un 1.87%.

Otro de los parámetros a tener en cuenta es el factor iluminación, se determinó que es complicado obtener un dato concluyente para cada bombillo empleado.

Por lo que se realizaron mediciones puntuales de la iluminación empleando luxometros para luces fluorescentes y luces led, estos datos pueden ser encontrados en anexo 12. En el edificio FTI se encontraron los siguientes datos:

BANCO DE TRANSFORMADOR	NOMBRE DE EDIFICIO	NOMBRE DE AREA	TIPO DE LUMINARIA	CANTIDAD	MAL ESTADO	POTENCIA (W)	USO (HORAS/DIA)	FB	POTENCIA TOTAL (kW)	CONSUMO (kWh/mes)	CONSUMO (kWh/año)
BT06	Edificio FTI	Vice decanatura	Ojos de buey pequeño	7	0	5	10	01.03	3.605	7.931	95.172
BT06	Edificio FTI	Baños mujeres planta baja	Lampara LED	2	0	18	5	01.03	3.708	4.0788	489.456
BT06	Edificio FTI	Baños hombre planta baja	Lampara LED	2	0	18	5	01.03	3.708	4.0788	489.456
BT06	Edificio FTI	CCMM1	LED cuadrada	14	1	12	10	01.03	17.304	380.688	4.568.256
BT06	Edificio FTI	Coordinacion de extension	LED cuadrada	3	0	12	10	01.03	3.708	8.1576	978.912
BT06	Edificio FTI	Centro de documentacion	LED cuadrada	11	0	12	10	01.03	13.596	299.112	3.589.344
BT06	Edificio FTI	Aula Especializada	LED cuadrada	16	0	12	10	01.03	19.776	435.072	5.220.864
BT06	Edificio FTI	Coordinacion de investigacion	LED cuadrada	3	0	12	10	01.03	3.708	8.1576	978.912
BT06	Edificio FTI	Escuela de ingenieria mecanica	LED cuadrada	23	0	12	10	01.03	28.428	625.416	7.504.992
BT06	Edificio FTI	Escuela de ingenieria industrial	Fluorescente	34	4	40	10	1.15	1.564	344.08	4128.96
BT06	Edificio FTI	Delegacion administrativa	Fluorescente	14	0	40	10	1.15	644	141.68	1700.16
BT06	Edificio FTI	Decanatura	LED cuadrada	19	0	12	10	01.03	23.484	516.648	6.199.776
BT06	Edificio FTI	Baños mujeres planta alta	Bujia LED	1	0	9	5	01.03	927	1.0197	12.2364
BT06	Edificio FTI	Baños hombres planta alta	Bujia LED	1	0	9	5	01.03	927	1.0197	12.2364
BT06	Edificio FTI	Exterior	Ojos de buey pequeño	11	0	5	9	01.03	5.665	11.2167	1.346.004
BT06	Edificio FTI	Luminaria Pública	HID	9	0	175	9	01.03	162.225	3.212.055	3,854,466

Tabla 6. Tabla del consumo en el sistema de iluminación del edificio FTI.

Fuente: Elaboración Propia.

Elaboramos una gráfica dinámica con los consumos por sistema de iluminación en cada banco de transformador y se muestra a continuación:

Etiquetas de fila	Suma de CONSUMO (kWh/mes)
BT01	1961.8544
BT02	5244.26914
BT03	5570.36535
BT04	1903.26543
BT05	1545.42784
BT06	979.74723
BT07	1834.06608
BT08	2031.56426
BT09	2409.65582
BT10	46.0207
BT11	1483.845
(en blanco)	
Total general	**25010.08125**

Tabla 7. Consumo mensual por sistema de iluminación en el RUPAP.

Fuente: Elaboración Propia.

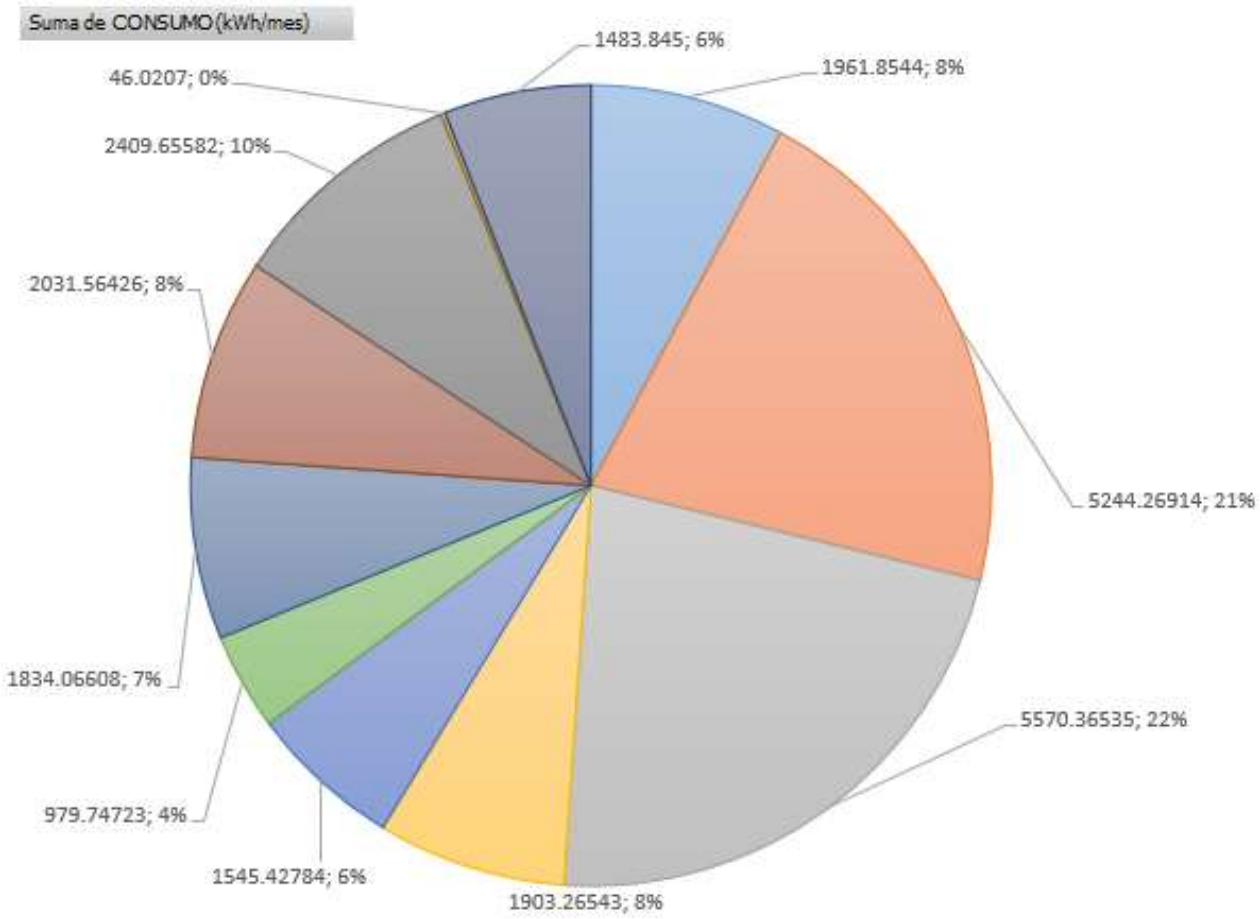


Figura 37. Gráfico dinámico del consumo mensual del sistema de iluminación en el RUPAP.
Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico anterior se aprecia que el porcentaje de consumo por el sistema de iluminación del edificio FTI corresponde a un 4% del total consumido por todo el recinto universitario.

Finalmente se levantó un censo de carga de los equipos de aire acondicionado y se obtuvo la siguiente tabla:

NO. BANCO DE TRANSFORMADOR	NOMBRE DE AREA	CAPACIDAD (BTU)	HORAS DE USO	CANTIDAD	SEER PLACA	SEER CALCULADO	DEMANDA TOTAL (W)	DEMANDA TOTAL (KW)	CONSUMO (KWh/Dia)	DIAS AL MES	CONSUMO MENSUAL (KWh)
BT06	Secretaría FTI	36000	6.25	1	23	25.56	1,565.22	1.57	6.85	22	150.65
BT06	Secretaría FTI	36000	6.25	1	23	25.56	1,565.22	1.57	6.85	22	150.65
BT06	Secretaría FTI	24000	6.25	1	20	22.22	1,200.00	1.20	5.25	22	115.50
BT06	Vice Decanatura FTI	23000	6.25	1	20	22.22	1,150.00	1.15	05.03	22	110.69
BT06	Centro de Computo (CCMM)	60000	6.25	1	19	21.11	3,157.89	3.16	13.82	22	303.95
BT06	Centro de Computo (CCMM)	36000	6.25	2	23	12.78	3,130.43	3.13	13.70	22	301.30
BT06	Coordinacion de extension FTI	18000	6.25	1	12	13.33	1,500.00	1.50	6.56	22	144.38
BT06	Coordinacion de investigación FTI	24000	6.25	1	17	18.89	1,411.76	1.41	6.18	22	135.88
BT06	Sala especializada FTI	60000	6.25	2	19	10.56	6,315.79	6.32	27.63	22	607.89
BT06	Centro de documentacion FTI	48000	6.25	2	18	10.00	5,333.33	5.33	23.33	22	513.33
BT06	Escuela de mecanica	60000	6.25	5	19	4.22	15,789.47	15.79	69.08	22	1,519.74
BT06	Escuela de industrial	48000	6.25	3	18	6.67	8,000.00	8.00	35.00	22	770.00
BT06	Decanatura FTI	24000	6.25	1	20	22.22	1,200.00	1.20	5.25	22	115.50
BT06	Delegacion administrativa	36000	6.25	1	23	25.56	1,565.22	1.57	6.85	22	150.65

Tabla 8. Censo de carga de aires acondicionados en el edificio FTI.

Fuente: Elaboración Propia.

Se elaboró un gráfico dinámico para que sea más apreciable el consumo que realizan los equipos de aire acondicionado en el edificio FTI.

Etiquetas de fila	Suma de CONSUMO MENSUAL
BT01	4736.567171
BT02	11422.24537
BT03	21959.98244
BT04	3938.075984
BT05	9511.555215
BT06	9872.034461
BT07	8349.804878
BT08	8884.497382
BT09	3996.520138
BT10	742.5
Total general	**83413.78303**

Tabla 9. Consumo mensual por aires acondicionados en el RUPAP.

Fuente: Elaboración Propia.

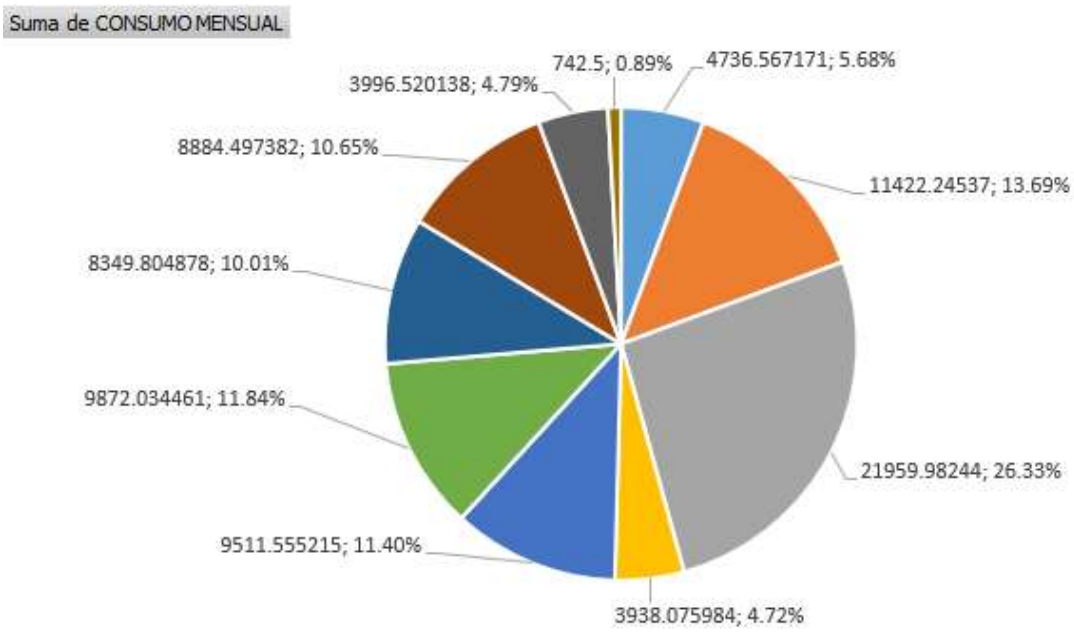


Gráfico 38. Gráfico dinámico del consumo mensual de los aires acondicionados en el RUPAP.

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante el gráfico anterior es apreciable que el consumo del edificio FTI por aires acondicionados corresponde a un 11.84% del total consumido por aires acondicionados del RUPAP.

4.3 Mediciones y Dimensionamiento de sistema.

Se realizaron medidas de parámetros eléctricos en los paneles PP-1S y PP-2S de la escuela de ingeniería mecánica, del edificio de Facultad de Tecnología de la Industria, con un analizador de redes Fluke 435-II.

Durante las mediciones se observó que ambos paneles tienen cargas bifásicas (aires acondicionados) y monofásicas (Tomas de corriente, luces, etc), lo que limita poder alimentar exclusivamente con el sistema solar los aires acondicionados, a menos que se reorganice la estructura eléctrica actual.

Las mediciones fueron realizadas el día 31 de enero de 2023, en el período comprendido entre las 10:08 hr y las 12:58 hr se midió el panel PP-2S, y el panel PP-1S entre las 13:22 hr y las 15:24 hr.

En las mediciones del panel PP-2S se aprecia un pico de potencia máximo de 41.94 Kw, un punto mínimo de 10.38 Kw y una tendencia entre 21 y 22 Kw como se muestra en la **gráfica 39**, este último valor es el que será considerado para el dimensionamiento del sistema, tomando en cuenta que los picos son momentáneos y pueden ser tomados de la red comercial de manera automática por el inversor inyectado.

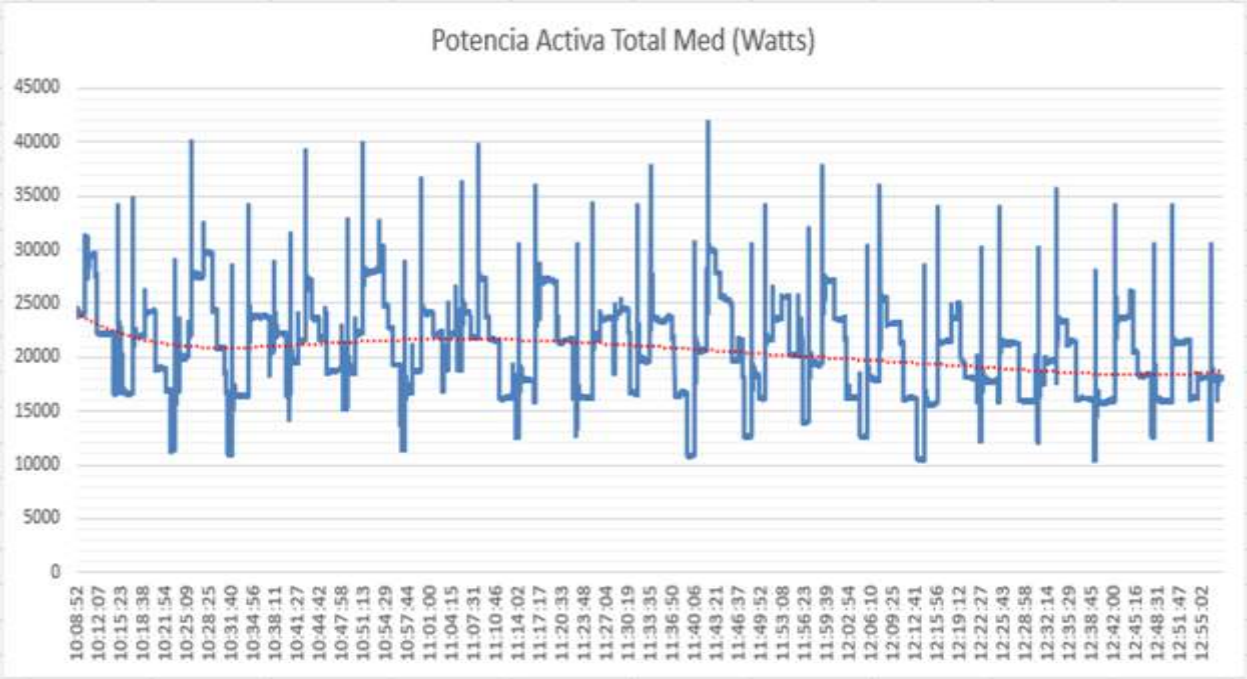


Gráfico 39. Potencia activa total media y línea de la tendencia para el panel PP-2S

Fuente: Elaboración propia

Los registros del panel PP-1S muestran un pico de potencia máximo de 36.33 Kw, un punto mínimo de potencia de 12.12 Kw y una tendencia entre 16 y 17 Kw como se muestra en la **gráfica 40**.

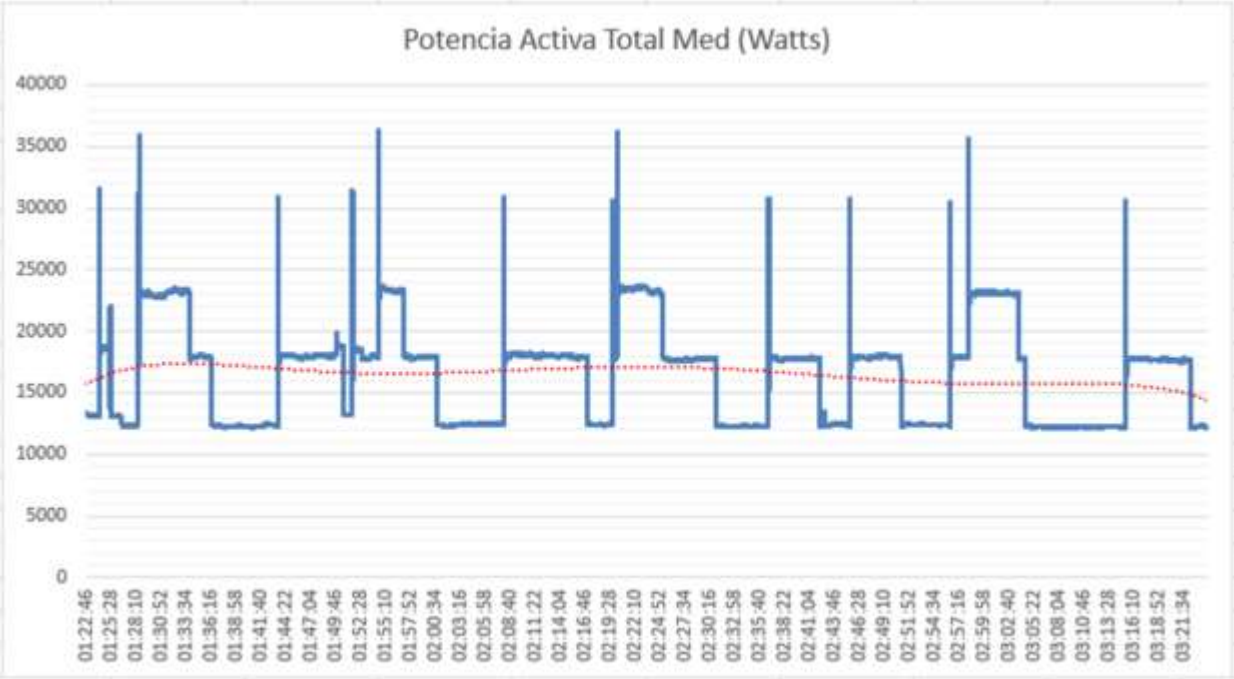


Gráfico 40. Potencia activa total media y línea de la tendencia para el panel PP-1S

Fuente: Elaboración propia

Realizando la suma de ambas tendencias, tomando los límites superiores como referencia tendríamos 22 Kw para el panel PP-2S y 17 Kw para el panel PP-1S, para un total de 39 Kw como potencia de diseño. esto significa que si seleccionamos paneles de 550 w serán necesarios 71 paneles para abastecer esa demanda.

$$22\ Kw + 17\ Kw = 39\ Kw$$

Esto significa que si seleccionamos paneles de 550 w serán necesarios 71 paneles para abastecer esa demanda.

$$\frac{39\ Kw}{0.55} = 70.91\ \approx 71$$

Como el sistema solar que se propone es Off Grid no requiere de baterías, pero en caso de que se pretendiera diseñar un sistema On Grid sería necesario conocer la demanda de energía diaria, para esto recurrimos a los gráficos de energía obtenidos, y realizamos el siguiente análisis.

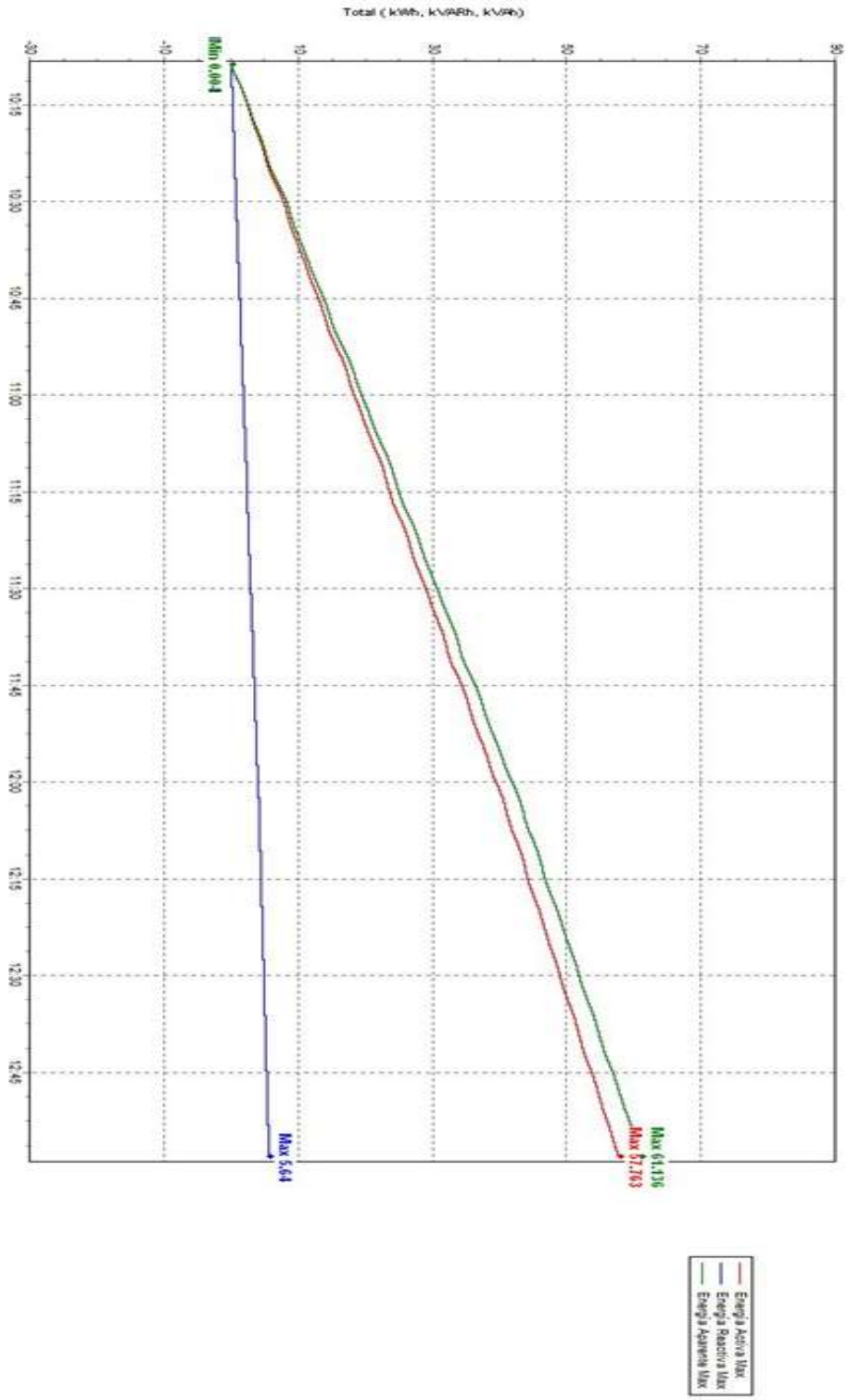


Gráfico 41.

Consumo de energía aparente, activa y reactiva, panel PP-2S

Fuente: Elaboración propia

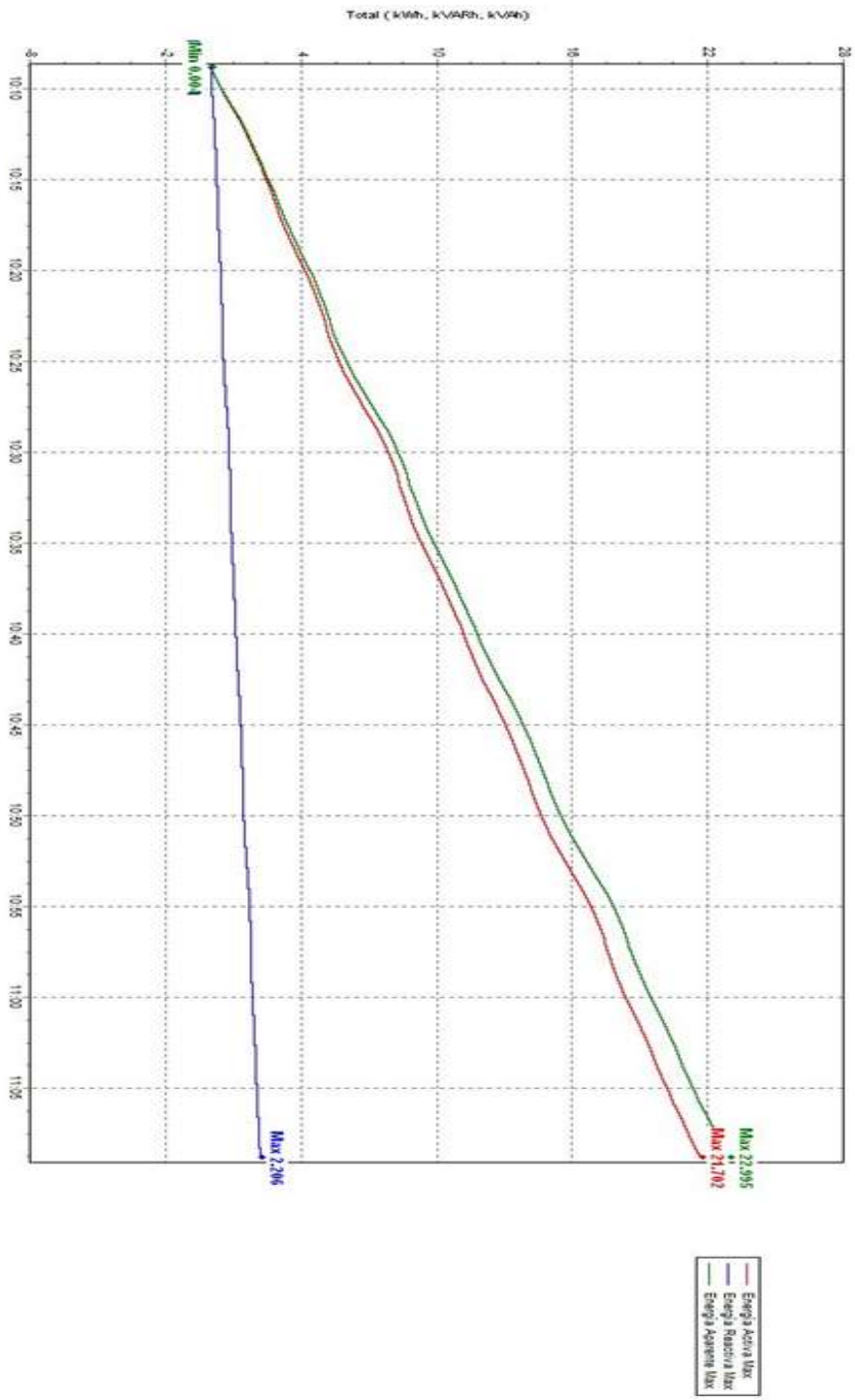


Gráfico 42. Consumo de energía aparente, activa y reactiva, panel PP-2S durante 1hr

Fuente: Elaboración propia

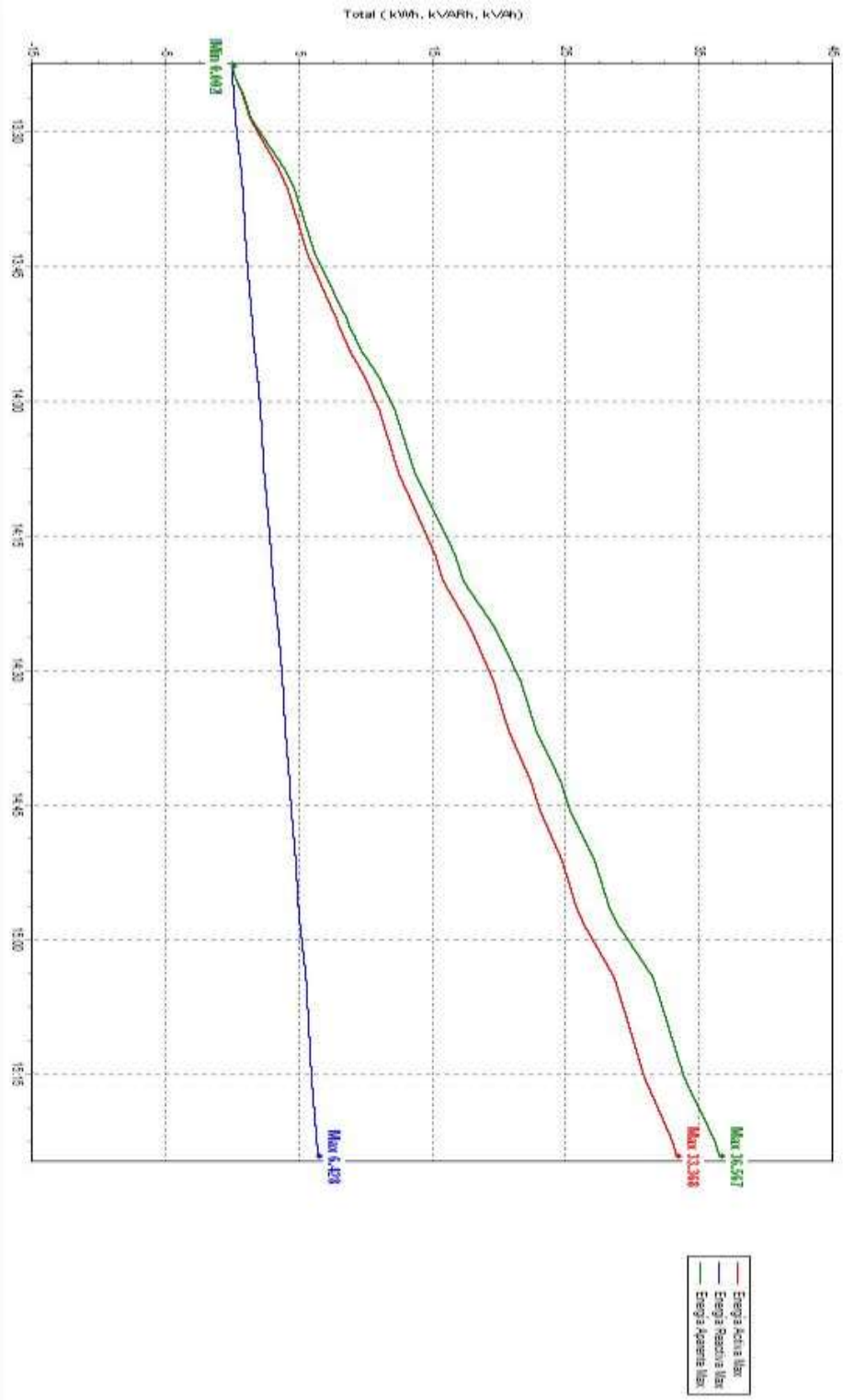


Gráfico 43.

Consumo de energía aparente, activa y reactiva, panel PP-1S

Fuente: Elaboración propia

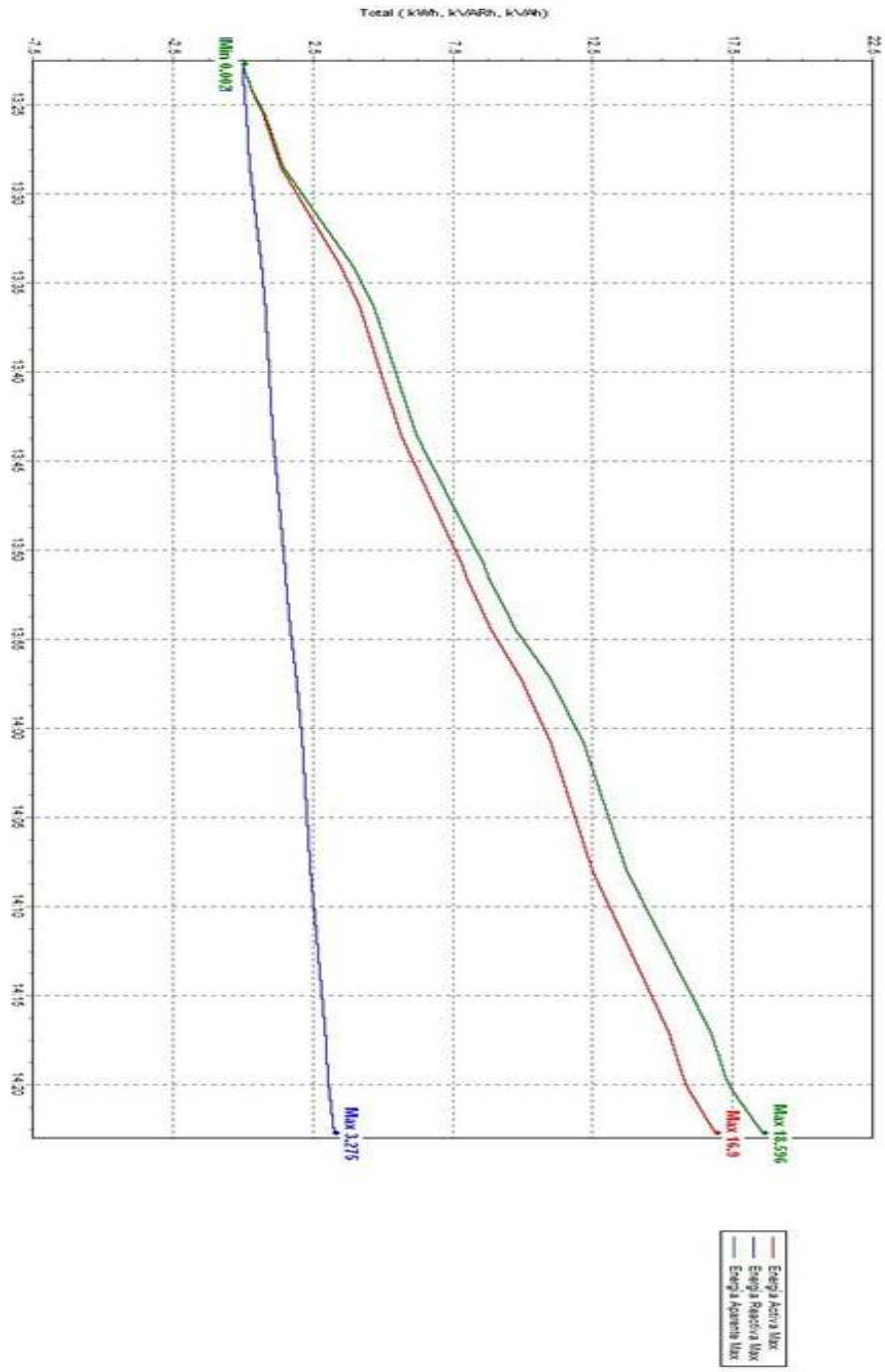


Gráfico 44. Consumo de energía aparente, activa y reactiva, panel PP-1S durante 1hr

Fuente: Elaboración propia

En un periodo de 2 hr y 50 min se registró un consumo de energía activa de 57.763 Kwh, si en el periodo de 1 hr se registra un consumo de energía activa de 21.702 Kwh, podemos estimar entonces que el consumo de energía activa es de 21 Kwh para el panel PP-2S.

$$\frac{57.763\ Kwh}{2.833h} = 20.39\ Kw * 1h = 20.39Kw$$

Para el caso del panel PP-1S se midió durante 2 hr y 2 min registrando un consumo de energía activa de 36.567 Kwh y 18.596 Kwh en el período de una hora, por lo que en este caso el consumo de energía activa es de 18 Kwh.

$$\frac{36.567\ Kwh}{2.033h} = 17.99\ Kw * 1h = 17.99\ Kw$$

Sumando el consumo de energía activa por hora, obtenemos un total de 39 Kwh, esto lo multiplicamos por las horas que queremos obtener la energía, por ejemplo, si queremos aportar 8 horas de autonomía multiplicamos 39 Kwh por 8, eso nos da un total de 312 Kwh por día, potencia que servirá para la selección de las baterías.

$$21\ Kwh + 18\ Kwh = 39\ Kwh$$

$$39\ Kwh\ x\ 8 = 312\ Kwh$$

Considerando un voltaje de CD de 48V podemos obtener el total amperios horas necesarios, entonces dividimos 312 Kwh entre 48V, eso nos da 6500 Amperios hr como el total necesario de capacidad requerida para un sistema On Grid que trabajará 8 horas al día con una demanda de potencia de 312 Kwh.

$$\frac{312{,}000\ wh}{48\ V} = 6500\ A.hr$$

4.4 Selección de componentes.

Procedimos a seleccionar equipos basados en los cálculos realizados en el punto anterior.

Encontramos un panel de generación solar cuyos parámetros técnicos cumplen con los requerimientos del sistema.

4.4.1 Paneles solares.

Investigando con el grupo Canadian Solar encontramos el siguiente panel solar:

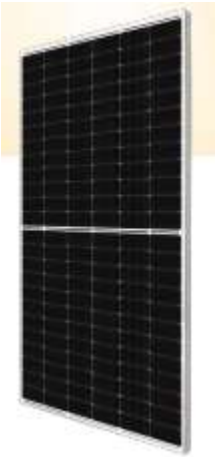


Figura 45. HiKu6 Mono Perc de 550W.

Fuente: Catálogo de equipos Canadian Solar.

Parámetros Técnicos:

Mono cristalino	550W
Voc (V)	49.6
Isc (A)	14
Vmp (V)	41.7
Imp (A)	13.2
Dimensiones del módulo 2261 x 1134 x 35 mm	

Tabla 10. Parámetros técnicos del panel solar seleccionado.

4.4.2 Inversor.

Debido al tipo de instalación seleccionamos un Inversor trifásico, el equipo elegido es el siguiente:

Solis-80K-5G.

Parámetros técnicos:

Entrada Corriente Directa	
Tensión máx. de entrada	1100 V
Tensión nominal	600 V
Tensión de arranque	195 V
Rango de voltaje MPPT	180 - 1000 V
Corriente máx. de entrada	9*26 A
Corriente máx. de cortocircuito	9*40 A
Número MPPT	9/18

Tabla 11. Parámetros técnicos de inversor seleccionado (Entrada).

Salida de Corriente Alterna	
Potencia Nominal de salida	80 kW
Potencia máx. aparente de salida	88 kW
Potencia máx. de salida	88 kW

Tensión nominal de red	3/N/PE, 220 V/ 380 V, 230 V/ 400 V
Frecuencia nominal de red	50 Hz / 60 Hz
Corriente de red Nominal en salida	121.6 A / 115.5 A
Corriente de salida máx.	133.7 A
Factor de Potencia	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)
THDi	< 3%

Tabla 12. Parámetros técnicos de inversor seleccionado (Salida).

4.4.3 Cableado.

Es necesario realizar ciertas consideraciones previo a la selección del cableado.

Proponemos un arreglo de 6 agrupaciones, cinco de estas compuestas por 12 paneles fotovoltaicos y una compuesta por 11 paneles fotovoltaicos, en serie.

Los paneles fotovoltaicos se conectarán en serie para trabajar con una tensión de 500 V a la entrada del inversor, por lo tanto:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{6600\ W}{500.4\ V} = 13.19\ A$$

Por consiguiente, el calibre del conductor seleccionado será de 12 AWG que tiene capacidad de 20 A, a una temperatura del conductor de 75 °C y genera una caída de tensión de 0.3%.

Para dimensionar el cable en la salida del inversor consideramos lo siguiente:

Voltaje de f-f	240 V
Potencia	39050 W
Factor de potencia	0.9
Longitud de línea	70 m
Caída de tensión	1.80%
Calibre	2/0 awg

Tabla 13. Selección de conductor salida del inversor (C.A.).

4.5 Simulaciones.

Se realizó el diseño de estructura de soporte y arreglo matricial de paneles que se colocaran en el techo del edificio, basado en la descripción del diseño de módulo fotovoltaico. Ahí se describe como 15°, el ángulo de inclinación que aprovecha mejor la radiación a lo largo de un año.

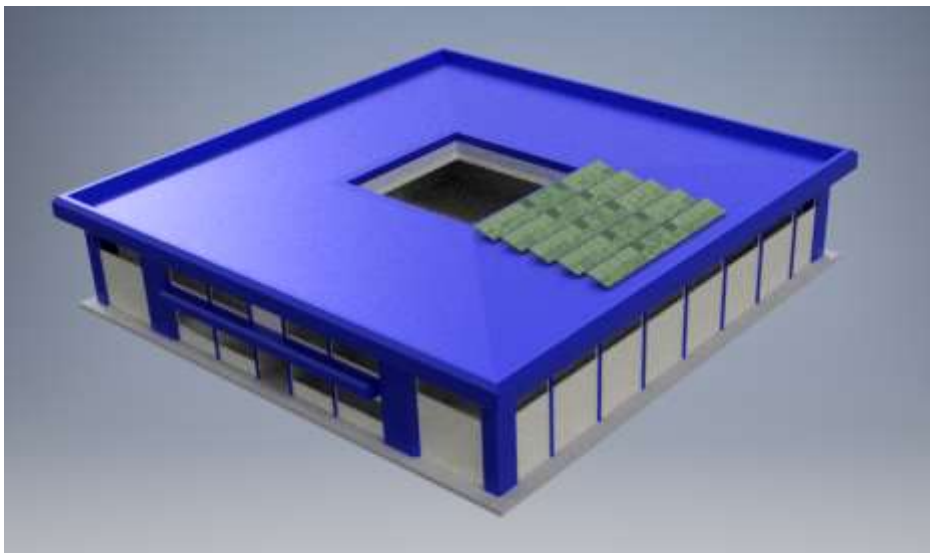


Figura 47. Arreglo matricial de paneles sobre el techo del edificio FTI.
Fuente: Propia

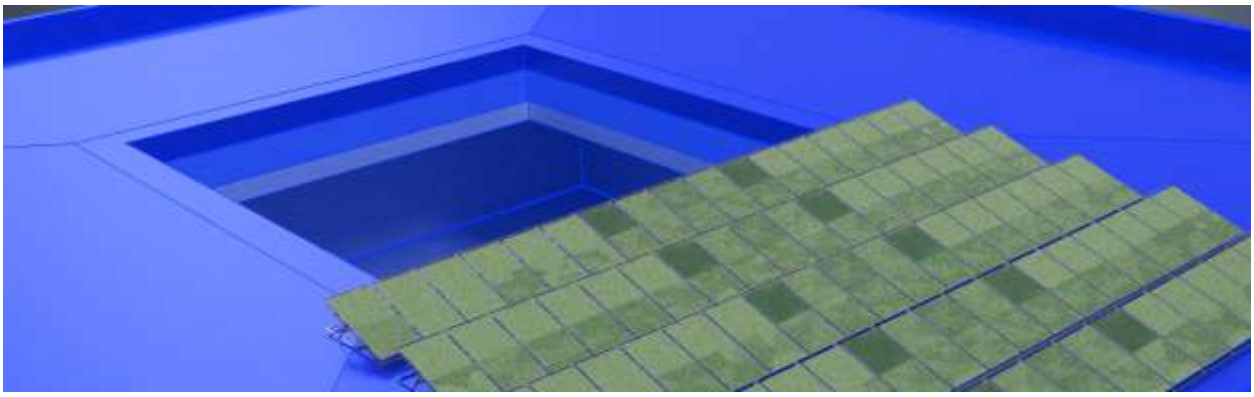


Figura 48. Arreglo matricial de paneles sobre el techo del edificio FTI (en perspectiva).

Fuente: Propia

El montaje del panel consta de una base metálica ajustable de perfiles rectangulares de 2”x1”x1/8”, esto permite ajustar conforme al terreno y obtener el ángulo deseado según los cálculos antes expuestos.

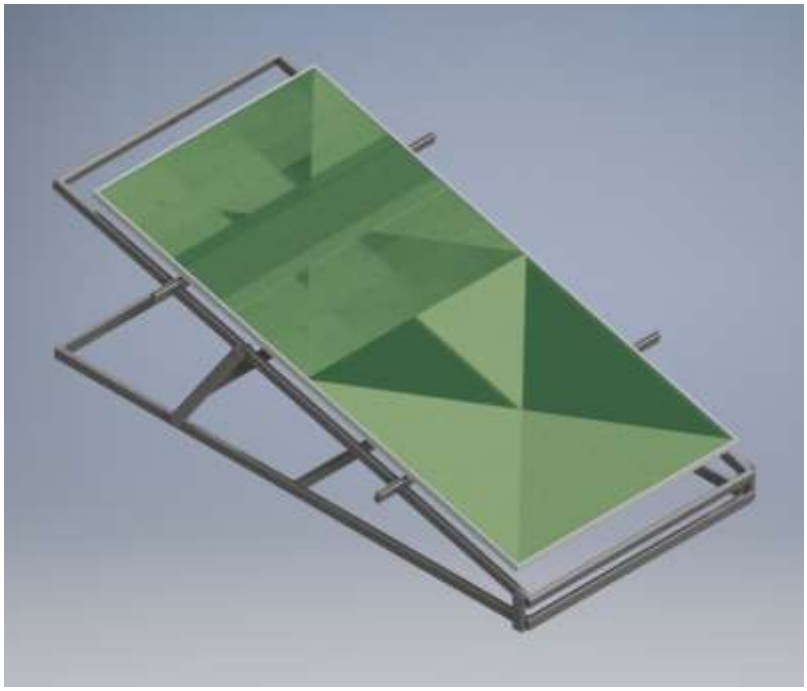


Figura 48. Montaje de panel sobre estructura base.
Fuente: Propia

Figura 48. Estructura de soporte ajustable.
Fuente: Propia

La estructura está diseñada para soportar la carga de 28 kg (según la ficha técnica del panel), además su peso no supera los 75 kg, cumpliendo con un factor de seguridad entre 15 a 6.5 y esfuerzo máximo de 33Mpa, según Fig. 49 y Fig. 50.

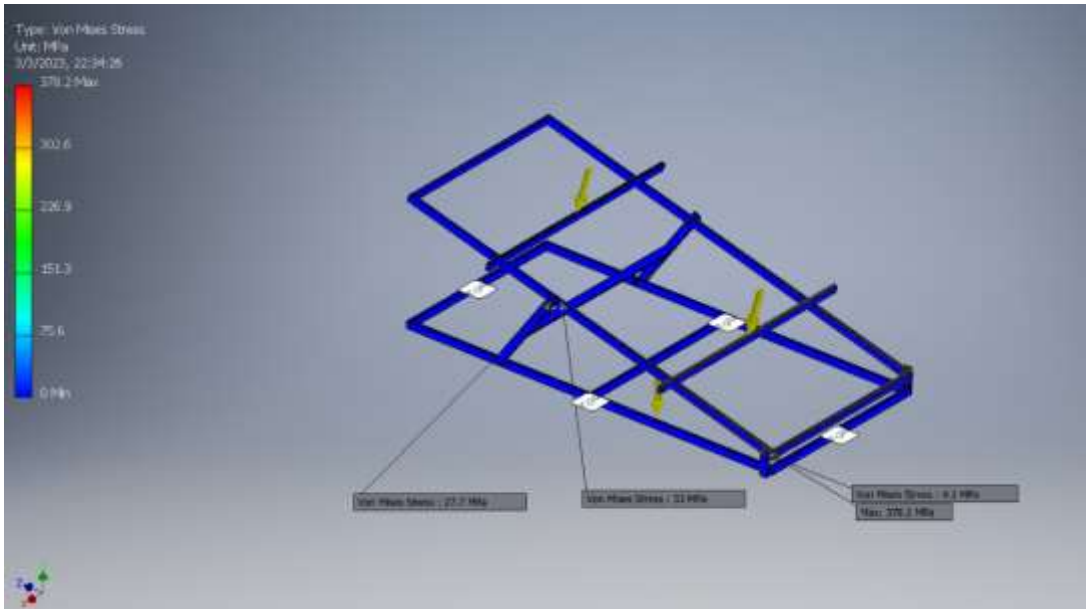


Figura 49. Esfuerzos de estructura, escala de Von Misses.
Fuente: Propia

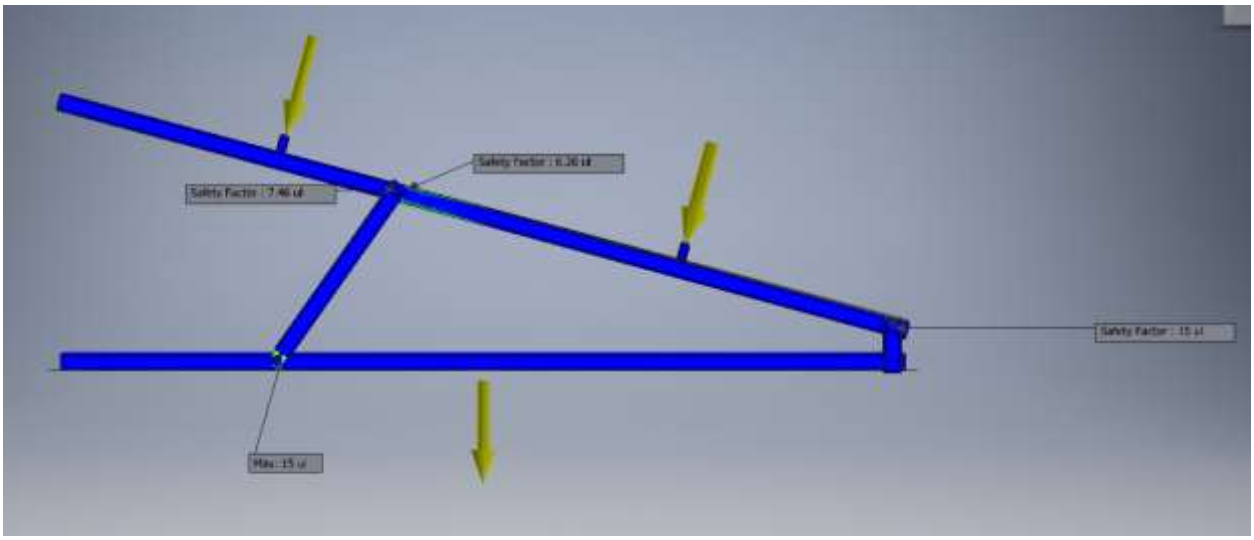


Figura 50. Factor de seguridad de estructura, escala de Von Misses.
Fuente: Propia

4.6 Análisis económico

Se realizó presupuesto estimado de los componentes que conforman el sistema y su costo de instalación, para poder estimar un tiempo de retorno de la inversión según los ahorros energéticos.

Para ellos tenemos los siguientes valores:

	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	Sub-Total
Panel Solar Hiku6 Mono Perc	Und	71	$ 247.50	$ 17,572.50
Inversor	Und	1	$ 6,600.00	$ 6,600.00
Cableado	Und	1	$ 3,000.00	$ 3,000.00
Estructura	Und	71	$ 192.60	$ 13,674.60
Mano de obra	Glb	1	$ 5,434.40	$ 5,434.40
Mantenimiento por 5 años	Und	1	$ 3,000.00	$ 3,000.00
			TOTAL	$ 49,281.50

Tabla 14. Costos estimados del sistema fotovoltaico.

Posterior calculamos la cantidad de generación de energía, sabemos que la capacidad nominal de generación es:

$$71\ paneles * 550W = 39.05\ Kw$$

Si calculamos la generación durante 6 horas de sol diaria al 70% de eficiencia, como factor de corrección por suciedad y condiciones climáticas, entonces:

$$39.05\ Kw * 6\ hr = 234.3\ Kw/hr$$

Multiplicamos por el factor de corrección:

$$234.3 \frac{Kw}{hr} * 70\% = 164.01\ Kw/hr\ al\ día$$

El costo del Kw/hr en la tarifa T-2D al día 4 de marzo de 2023 es de U$ 0.177, por lo tanto, multiplicamos la generación diaria por el costo de Kw/hr y obtenemos:

$$164.01\ Kw/hr * 0.177 = U\$\ 29.008$$

Mensual

$$U\$\ 29.008 * 30\ días = U\$\ 870.255$$

Anual

$$U\$\ 870.255 * 12 = \ U\$\ 10{,}443.059$$

Es decir que nuestro retorno de inversión se estimaría como sigue:

$$\frac{U\$\ 49{,}281.50}{U\$\ 10{,}443.059} = \ 4.719\ años$$

V. CONCLUSIONES

Considerando también la potencia consumida por las cargas monofásicas que comparten centro de carga con las unidades de aire acondicionado, es necesario instalar 71 paneles de 550W en conjunto a un inversor de 80kW, que darán abasto a los 39 Kw de potencia demanda, se consideró así y no en base a las potencias picos, porque estas son momentáneas y provocaría una sobredimensión que no estará justificada por el ahorro, en cambio con un diseño basado a 39 Kw el sistema tomará de la red comercial el restante, pero se aprovechará al máximo la inversión de generación.

Concluimos que el proyecto es factible debido a que la vida útil del sistema es de aproximadamente 15 y 20 años, considerando que el retorno de inversión será apreciable en un plazo de 5 años.

VI. RECOMENDACIONES

Como se mencionó anteriormente, durante el levantamiento y mediciones realizadas en los paneles PP-1S y PP-2S, se observó que no son exclusivos para aires acondicionados, objetivo inicial de este trabajo.

Por lo que se recomienda separar, reordenar y balancear las cargas bifásicas de los aires acondicionados y monofásicas.

CARGAS MONOFASICAS EN PANEL PP - 1S

MODELO: CHP424CC225F VOLTAJE: 120/240 CAPACIDAD: 225 A

CARGA	BREAKER	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)		L1	L2	L3		L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	BREAKER	CARGA
1	20	0			1				2	0			20	14
2	20		0		3				4		0		20	15
3	20			0	5				6			0.2	20	16
4	20	0			7				8	0			20	17
5	20		0.4		9				10		0		20	18
6	20			0.3	11				12			0.3	20	19
7	20	0			13				14	0			20	20
8	20		0.2		15				16		0.4		20	21
9	20			0	17				18			0.8	20	22
SIN CABLE	20				19				20	0			20	23
					21				22		0.9		20	24
					23				24				20	SIN CABLE
AA	60				25				26				60	AA
					27				28					
AA	60				29				30				60	AA
					31				32					
10	20		0.4		33				34				40	AA
11	20			0	35				36					
12	20	0			37				38				60	AA
13	20		0		39				40					
					41				42					

SUMA		
0	1	0.3

SUMA		
0	1.3	1.3

Tabla 15. Cargas monofásicas del panel PP-1S.

La intensidad total en cargas monofásicas para las fases L1, L2 y L3 son 3.1, 3.8 y 4.7 amperios respectivamente, un desbalance máximo entre fases de 20%, lo que se puede y debe mejorar al menos al 6%.

CARGAS MONOFASICAS EN PANEL PP - 2S

MODELO: CHP424CC225F VOLTAJE: 120/240 CAPACIDAD: 225 A

CARGA	BREAKER	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)		L1	L2	L3		L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)	BREAKER	CARGA
Sub panel	40	0.2			1				2	0			20	35
			1.5		3				4		0		20	36
				1	5				6			0.5	20	37
25	20	0			7				8	1.5			20	38
26	20		0		9				10		0		20	39
27	20			0	11				12			0	20	40
28	20	0.3			13				14	0			20	41
29	20		0		15				16		0		20	42
30	20			1.1	17				18			0	20	43
31	20	1.1			19				20				40	AA
32	20		0		21				22					
33	20			0.5	23				24				60	AA
34	20	0			25				26					
AA	60				27				28				40	AA
					29				30					
AA	60				31				32				40	AA
					33				34					
AA	60				35				36				40	AA
					37				38					
AA	60				39				40				30	AA
					41				42					

SUMA		
1.6	1.5	2.6

SUMA		
1.5	0	0.5

Tabla 16. Cargas monofásicas del panel PP-2S.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Boylestad. Robert L. (2004). Introducción al análisis de circuitos. México. Ed. Pearson.

Energý Market Authority. (2011). Handbook for Solar Photovoltaic Systems. Singapore.

H. Shih Randy. (2017). Parametric modeling with Autodesk inventor 2018. SDC Publications.

Méndez Muñiz, Javier María; Cuervo García, Rafael. (2010). Energía Solar Térmica. Madrid. Fundación Confemetal.

P. Aparicio. Miguel. (2010). Radiación solar y su aprovechamiento energético. Barcelona. Ed. MARCOMBO S.A.

Papadopoulou Elena. (2011). Photovoltaic Industrial Systems. Berlin. Springer Berlin, Heidelberg.

Ruiz V., & Silva M. (2005). Radiación solar, medidas y cálculos. Universidad de Sevilla. Sevilla.

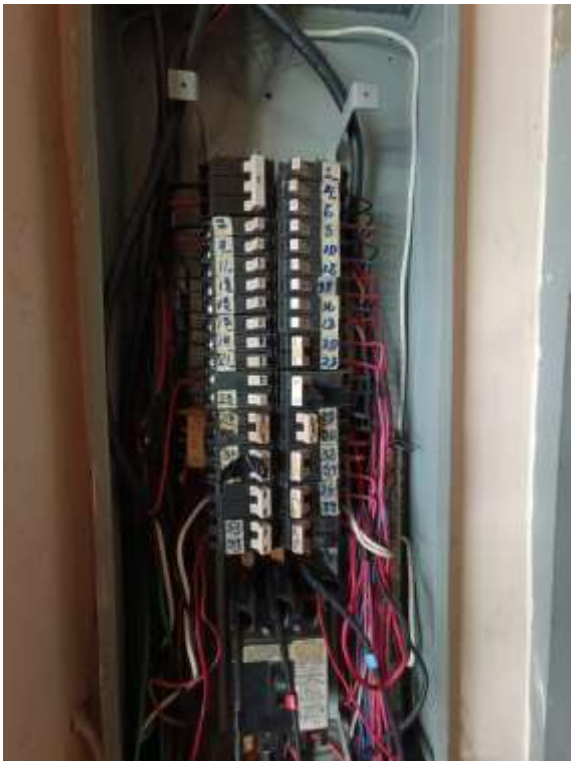
VIII. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

N°.	Actividad	Tiempo (h)	Control	Mes/Semana											
				Enero				Febrero				Marzo			
1	Planteamiento del problema	3	E												
			R												
2	Elaboración de objetivos	3	E												
			R												
3	Elaboración de marco teorico	7	E												
			R												
4	Realización de mediciones y recopilación de datos	8	E												
			R												
5	Planteamiento de propuesta de diseño del sistema fotovoltaico	5	E												
			R												
6	Elaboracion de propuesta del sistema fotovoltaico	7	E												
			R												
7	Redaccion inicial	8	E												
			R												
8	Revisión		E												
			R												
9	Elaboración final de documento		E												
			R												
10	Impresión y presentacion de trabajo		E												
			R												

IX.ANEXOS

Anexo 1. Paneles de escuela de ingeniería mecánica (PP-1S y PP-2S)

Anexo 2. Modelo de Panel eléctrico (Cutler-Hammer)



Anexo 3. Panel PP-2S

Anexo 4. Instalación de analizador de redes.

Anexo 5. Analizador de redes FLUKE 435 series II

Anexo 6. Realización de mediciones puntuales en panel PP-1S

Anexo 7. Realización de mediciones puntuales en panel PP-2S

Anexo 8. Centro de transformación #06, 3x100 kVA

Anexo 9. Catálogo Vertex proveído por ECAMI (panel fotovoltaico seleccionado).

solis

Solis-80K-5G

Solis Three Phase Inverters

Model:

400V: Solis-80K-5G

360 degree

Efficient

- 9 MPPTs, max. efficiency 98.7%
- > 150% DC/AC ratio
- Compatible with bifacial modules

Safe

- IP66
- Built-in PID recovery for better module performance (optional)
- Globally recognised branded componentry for longer life

Smart

- Night SVG function
- Intelligent string monitoring, Smart I-V curve scan
- Remote firmware upgrade with simple operation

Economic

- Power line communication (PLC) (optional)
- Support "Y" type connection in DC side
- Supports aluminium wire access to reduce cost

Datasheet

Model Name	Solis-80K-5G
Input DC	
Max. input voltage	1100 V
Rated voltage	600 V
Start-up voltage	195 V
MPPT voltage range	180-1000 V
Max. input current	9*26 A
Max. short circuit current	9*40 A
MPPT number/Max. input strings number	9/18
Output AC	
Rated output power	80 kW
Max. apparent output power	88 kVA
Max. output power	88 kW
Rated grid voltage	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V
Rated grid frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated grid output current	121.6 A / 115.5 A
Max. output current	133.7 A
Power Factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)
THDi	<3%
Efficiency	
Max. efficiency	98.7%
EU efficiency	98.3%
Protection	
DC reverse-polarity protection	Yes
Short circuit protection	Yes
Output over current protection	Yes
Surge protection	DC Type II / AC Type II
Grid monitoring	Yes
Anti-islanding protection	Yes
Temperature protection	Yes
Strings monitoring	Yes
I/V Curve scanning	Yes
Anti-PID function	Optional
Integrated AFCI (DC arc-fault circuit protection)	Yes
Integrated DC switch	Yes
Integrated AC switch	Optional
General Data	
Dimensions (W*H*D)	1050*567*314.5 mm (with AC switch)
Weight	82 kg
Topology	Transformerless
Self consumption (night)	<2 W
Operating ambient temperature range	-25 ~ +60°C
Relative humidity	0-100%
Ingress protection	IP66
Cooling concept	Intelligent redundant fan-cooling
Max. operation altitude	4000 m
Grid connection standard	AS/NZS 4777.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530
Safety/EMC standard	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-2/-4
Features	
DC connection	MC4 connector
AC connection	OT terminal (max. 185 mm²)
Display	LCD
Communication	RS485, Optional: Wi-Fi, GPRS, PLC

Anexo 10. Catálogo de inversor seleccionado proveído por SOLIS

NO. BANCO DE TRANSFORMADOR	NOMBRE DE AREA	EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD	USO (HORAS/DIA)	USO (HORAS/MES)	POTENCIA UNITARIA (KW)	VOLTAJE (V)	POTENCIA TOTAL (KW)	CONSUMO DIARIO (KWH/DIA)	CONSUMO MENSUAL (KWH/MES)
BT06	Secretaria F.T.I.	Monitor	Dell	E2216H	3	7	154	0.11	100-240	0.33	2.31	50.82
BT06	Secretaria F.T.I.	Monitor	Hp	L1710	1	7	154	165	100-240	165	1.16	25.41
BT06	Secretaria F.T.I.	Monitor	Hp	V223	1	7	154	0.11	100-240	0.11	0.77	16.94
BT06	Secretaria F.T.I.	CPU	Dell	Optiplex 7040	3	7	154	0.24	100-240	0.72	05.04	110.88
BT06	Secretaria F.T.I.	CPU	Dell	Optiplex 7010	1	7	154	0.24	100-240	0.24	1.68	36.96
BT06	Secretaria F.T.I.	CPU	Hp	Z240	1	7	154	0.66	100-240	0.66	4.62	101.64
BT06	Secretaria F.T.I.	Impresora	Hp	Laser-Jet pro MFPM426 FDW	2	6.25	137.5	0.6	110-127	1.2	7.5	165
BT06	Secretaria F.T.I.	Estabilizador	Tripp-Lite	LS604AX	2	6.25	137.5	0.6	120	1.2	7.5	165
BT06	Secretaria F.T.I.	Estabilizador	Tripp-Lite	INTERNETOFFICE500	2	6.25	137.5	0.28	120	0.56	3.5	77
BT06	Secretaria F.T.I.	Mini abanicos			2	2	44	0.5	120	1	2	44
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Monitor	Dell	E2216H	1	6.25	137.5	0.11	100-240	0.11	6.875	15.125
BT06	Vice Decanatura F.T.I	CPU	Dell	optiplex 7040	1	6.25	137.5	0.24	100-240	0.24	1.5	33
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Laptop	Lenovo		1	4	88	56.067		56.067	224.268	4.933.896
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Telefono convencional	Panasonic	KX-TGC350LA	2	6.25	137.5	275	5.5	55	34.375	75.625
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Estabilizador	Tripp-Lite	LS604AX	3	6.25	137.5	0.6	120	1.8	11.25	247.5
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Estabilizador	Tripp-Lite	INTERNETOFFICE500	1	6.25	137.5	0.28	120	0.28	1.75	38.5
BT06	Vice Decanatura F.T.I	Impresora	Hp	Laser-Jet pro MFPM426 FDW	1	6.25	137.5	0.6	110-127	0.6	3.75	82.5
BT06	Centro de computo (CCMM)	Monitor	Hp	V223	25	4	88	0.11	100-240	2.75	11	242
BT06	Centro de computo (CCMM)	Monitor	Dell	E2216H	16	4	88	0.11	100-240	1.76	07.04	154.88

BT06	Centro de computo (CCMM)	Monitor	Dell	P1705T	1	4	88	22	100-240	22	88	1.936
BT06	Centro de computo (CCMM)	CPU	Hp	Z240	25	4	88	0.66	100-240	16.5	66	1452
BT06	Centro de computo (CCMM)	CPU	Dell	Optiplex 7040	1	4	88	0.24	100-240	0.24	0.96	21.12
BT06	Centro de computo (CCMM)	CPU	Dell	Optiplex 7010	16	4	88	0.24	100-240	3.84	15.36	337.92
BT06	Centro de computo (CCMM)	Estabilizador	Tripp-Lite	LS604AX	20	4	88	0.6	120	12	48	1056
BT06	Centro de computo (CCMM)	Estabilizador	Tripp-Lite	INTERNETOFFICE500	1	4	88	0.28	120	0.28	1.12	24.64
BT06	Coordinacion de extension	Laptop	Dell	Inspiron 1564	1	6.25	137.5	48	100-240	48	0.3	6.6
BT06	Coordinacion de extension	Impresora	Hp	Laserjet P2055	1	6.25	137.5	0.55	110-127	0.55	3.4375	75.625
BT06	Sala especializada	Monitor	Lenovo	E2054A	31	4	88	66	100-240	2.046	8.184	180.048
BT06	Sala especializada	CPU	Lenovo	ThinkCentre-M 720s	31	4	88	0.36	100-240	11.16	44.64	982.08
BT06	Sala especializada	Proyector	Epson	H599LCU	1	4	88	373	100-120	373	1.492	32.824
BT06	Sala especializada	Estabilizador	APC	BE850M2-LM	51	4	88	0.45	92-159	13.95	55.8	1227.6
BT06	Centro de documentacion	Monitor	Dell	E2216H	1	4	88	0.11	100-240	0.11	0.44	9.68
BT06	Centro de documentacion	CPU	Dell	optiplex 7040	1	7	154	0.24	100-240	0.24	1.68	36.96
BT06	Centro de documentacion	Impresora	Hp	Laserjet pro 400 M401dne	1	7	154	0.57	110-127	0.57	3.99	87.78
BT06	Centro de documentacion	Estabilizador	Tripp-Lite	SU3000XL	1	7	154	2.4	120	2.4	16.8	369.6
BT06	Centro de documentacion	Nodo			1	24	528	1.2	100-240	1.2	28.8	633.6
BT06	Coordinacion de investigacion	Monitor	Hp	S1933	1	6.25	137.5	23		23	14.375	3.1625
BT06	Coordinacion de investigacion	CPU	Clon		1	6.25	137.5	805	115	805	503.125	1.106.875

BT06	Coordinacion de investigacion	Impresora	Hp	Laserjet P2035	1	6.25	137.5	0.55	110-127	0.55	3.4375	75.625
BT06	Coordinacion de investigacion	Estabilizador	Tripp-Lite	INTERNET750U	1	6.25	137.5	0.45	115	0.45	2.8125	61.875
BT06	Escuela de mecanica	Monitor	Dell	E2216H	4	6.25	137.5	0.11	100-240	0.44	2.75	60.5
BT06	Escuela de mecanica	Monitor	Hp	V185	1	6.25	137.5	0.11	100-240	0.11	6.875	15.125
BT06	Escuela de mecanica	Monitor	Hp	L1710	2	6.25	137.5	165	100-240	0.33	2.0625	45.375
BT06	Escuela de mecanica	CPU	Dell	Optiplex 7010	4	6.25	137.5	0.24	100-240	0.96	6	132
BT06	Escuela de mecanica	CPU	Hp	Prodesk 600 G1	3	6.25	137.5	0.32	100-240	0.96	6	132
BT06	Escuela de mecanica	Laptop	Toshiba	PA5083U-1ACA	1	6.25	137.5	12.008	100-240	12.008	7.505	16.511
BT06	Escuela de mecanica	Laptop	ASUS	ADP-230GB	1	6.25	137.5	0.23	19.5	0.23	1.4375	31.625
BT06	Escuela de mecanica	Impresora	Hp	Laserjet 1536dnf MFP	1	6.25	137.5	121	100-240	121	75.625	166.375
BT06	Escuela de mecanica	Estabilizador	Tripp-Lite	INTERNET750U	9	6.25	137.5	0.45	115	04.05	253.125	556.875
BT06	Escuela de industrial	Monitor	Hanns. G	HZ194	1	6.25	137.5	165	100-240	165	103.125	226.875
BT06	Escuela de industrial	Monitor	Hp	V193	1	6.25	137.5	0.11	100-240	0.11	6.875	15.125
BT06	Escuela de industrial	Monitor	Hp	V223	1	6.25	137.5	0.11	100-240	0.11	6.875	15.125
BT06	Escuela de industrial	Monitor	Dell	E2216H	4	6.25	137.5	0.11	100-240	0.44	2.75	60.5
BT06	Escuela de industrial	CPU	Clon		1	6.25	137.5	805	115	805	503.125	1.106.875
BT06	Escuela de industrial	CPU	Hp	Prodesk 600 G1	1	6.25	137.5	0.32	100-240	0.32	2	44
BT06	Escuela de industrial	CPU	Dell	Optiplex 7010	5	6.25	137.5	0.24	100-240	1.2	7.5	165
BT06	Escuela de industrial	Laptop	Hp	Probook 450 G5	2	4	88	45	100-240	0.09	0.36	7.92
BT06	Escuela de industrial	Laptop	Lenovo	Flex 3	1	4	88	45	100-240	45	0.18	3.96
BT06	Escuela de industrial	Laptop	Toshiba	PA5083U-1ACA	1	4	88	12.008	100-240	12.008	48.032	1.056.704
BT06	Escuela de industrial	Scanner	Hp	G3010	1	7	154	21	100-120	21	147	3.234

BT06	Escuela de industrial	Impresora	Hp	Laserjet pro 400 M401dne	1	6.25	137.5	0.57	110-127	0.57	3.5625	78.375
BT06	Escuela de industrial	Impresora	Epson	L300	1	6.25	137.5	0.01	110-240	0.01	625	1.375
BT06	Escuela de industrial	Abanico pequeño	IPPON	FS-3001	1	4	88	0.09	110	0.09	0.12	2.64
BT06	Escuela de industrial	Abanico estandar			1	4	88	42	110-220	42	168	3.696
BT06	Escuela de industrial	Router	Nexxt	ASIDT054U1	1	6.25	137.5	54	9	54	3.375	7.425
BT06	Escuela de industrial	Estabilizador	APC	BE850M2-LM	6	6.25	137.5	0.45	92-139	2.7	16.875	371.25
BT06	Decanatura FTI	Monitor	Hp	V193	1	6.25	137.5	0.11	100-240	0.11	6.875	15.125
BT06	Decanatura FTI	CPU	Hp	Prodesk 600 G1	1	6.25	137.5	0.32	100-240	0.32	2	44
BT06	Decanatura FTI	Impresora	Brother	MFC-T1810W	1	6.25	137.5	649	110-127	649	405.625	892.375
BT06	Decanatura FTI	Televisor	Sony	KD-55X725F	1	4	88	167	110-240	167	668	14.696
BT06	Decanatura FTI	Estabilizador	Tripp-Lite	INTERNET750U	1	8	176	0.45	115	0.45	3.6	79.2
BT06	Decanatura FTI	Nodo			1	24	528	1.2	100-240	1.2	28.8	633.6
BT06	Decanatura FTI	Secador de mano	Ozono Master	3758	1	6.25	137.5	25	100-240	25	15.625	3.4375
BT06	Delegacion Administrativas	Monitor	Dell	E2216H	1	6.25	137.5	0.11	100-240	0.11	6.875	15.125
BT06	Delegacion Administrativas	CPU	Dell	optiplex 7040	1	6.25	137.5	0.24	100-240	0.24	1.5	33
BT06	Delegacion Administrativas	Impresora	Brother	MFC-T1810W	1	6.25	137.5	649	110-127	649	405.625	892.375
BT06	Delegacion Administrativas	Telefono convencional	Panasonic	KX-TGC350LA	1	6.25	137.5	275	5.5	275	171.875	378.125

Anexo 11. Tablas de equipos de oficina FTI.

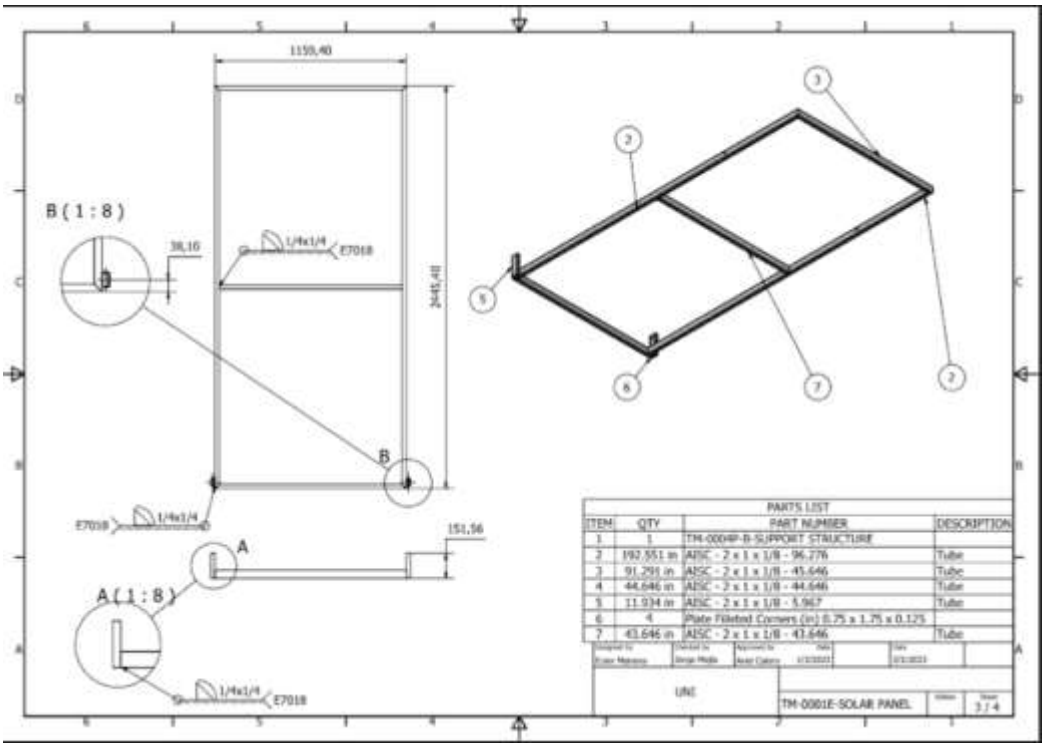
NO. BANCO DE TRANSFORMADOR	NOMBRE DE EDIFICIO	NOMBRE DE AREA	LUX	TIPO DE LUMINARIA
BT06	FTI PB	Secretaria FTI (Recepcion)	13	LED
BT06	FTI PB	Secretaria FTI (Oficina 1)	17	LED
BT06	FTI PB	Secretaria FTI (Oficina 2)	19	LED
BT06	FTI PB	Secretaria FTI (Bodega)	22.3	LED
BT06	FTI PB	Centro de computo (CCMM) (Oficina)	18.8	LED
BT06	FTI PB	Centro de computo (CCMM)(Salón de clases)	17	LED
BT06	FTI PB	Coordinacion de extension	289	LED
BT06	FTI PB	Vicedecanatura (Recepcion)	8.1	LED
BT06	FTI PB	Vicedecanatura (Oficina)	9.5	LED
BT06	FTI PB	Vicedecanatura (bodega)	9.2	LED
BT06	FTI PB	Sala especializada (Oficina)	8.3	LED
BT06	FTI PB	Sala especializada (Bodega)	11	LED
BT06	FTI PB	Sala especializada (Salón de clases)	7	LED
BT06	FTI PB	Centro de documentacion (Recepcion)	19	LED
BT06	FTI PB	Centro de documentacion (Oficina)	14.2	LED

BT06	FTI PB	Centro de documentacion (Nodo)	30.2	LED
BT06	FTI PB	Centro de documentacion (Sala de junta)	25	LED
BT06	FTI PB	Coordinacion de investigacion	309	LED
BT06	FTI PB	Baño mujeres (FTI)	102	LED
BT06	FTI PB	Baño Hombres (FTI)	116	LED
BT06	FTI PB	Pasillos	24	LED
BT06	FTI PA	Delegacion administrativa (Oficina)	186	Fluorescente
BT06	FTI PA	Delegacion administrativa (Recepcion)	180	Fluorescente
BT06	FTI PA	Decanatura (Recepcion)	8.73	LED
BT06	FTI PA	Decanatura (Oficina)	12.4	LED
BT06	FTI PA	Decanatura (Sala de Juntas)	23	LED
BT06	FTI PA	Decanatura (Baños)	10	LED
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Secretaria)	269	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 1)	336	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 2)	530	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 3)	478	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 4)	133.3	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 5)	250	Fluorescente

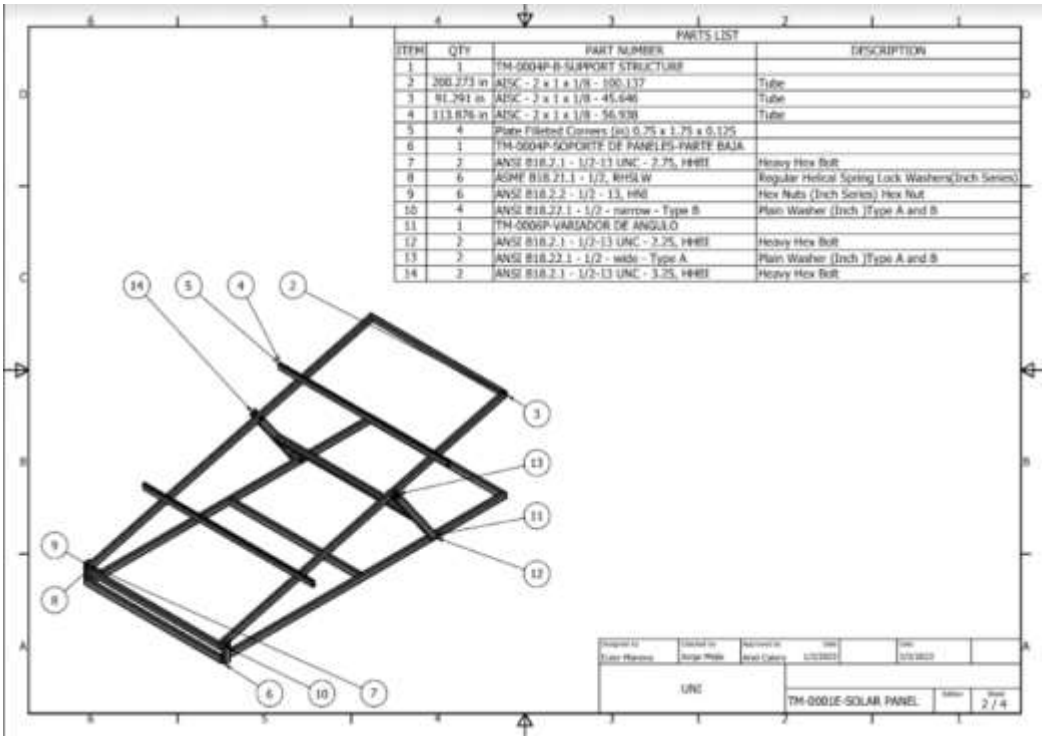
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 6)	416	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 7)	373	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 8)	276	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 9)	268	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Industrial (Oficina 10)	179.5	Fluorescente
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Secretaria)	14.5	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 1)	22.3	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 2)	21.5	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 3)	81	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 4)	23.3	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 5)	15.3	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 6)	30.5	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 7)	27	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 8)	47.8	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 9)	13.61	LED
BT06	FTI PA	Escuela Mecanica (Oficina 10)	14.5	LED

BT06	FTI	Escaleras lado este	7	LED
BT06	FTI	Escaleras lado oeste	8	LED

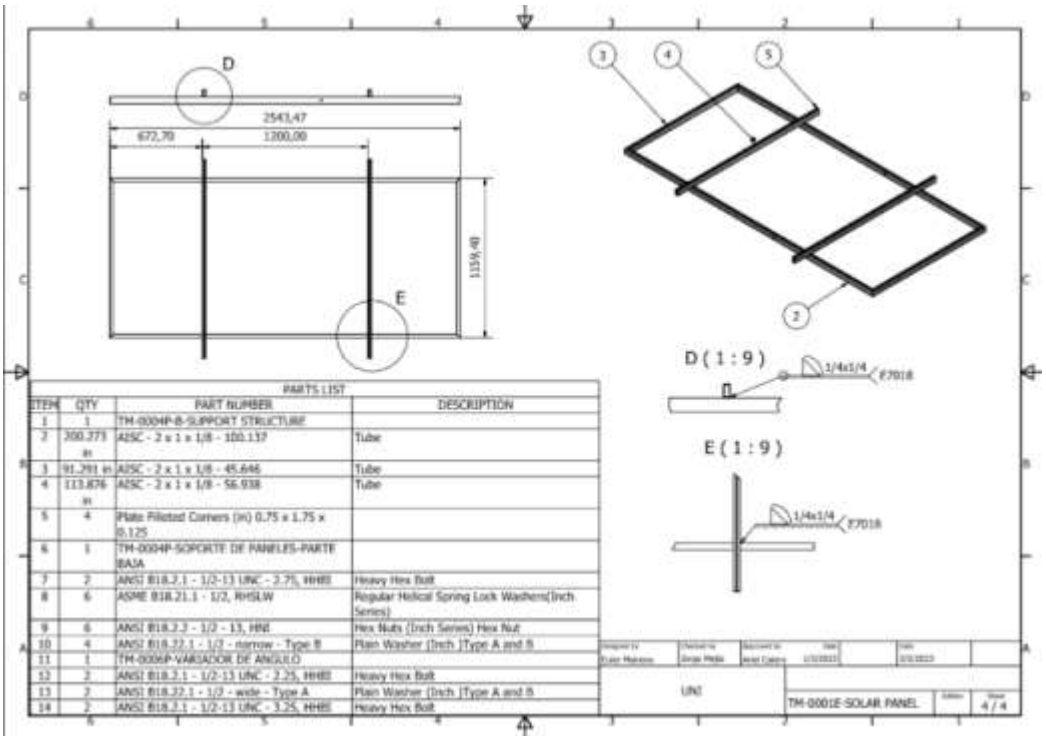
Anexo 12. Tablas con mediciones con luxometros a la luminaria en el edificio FTI.



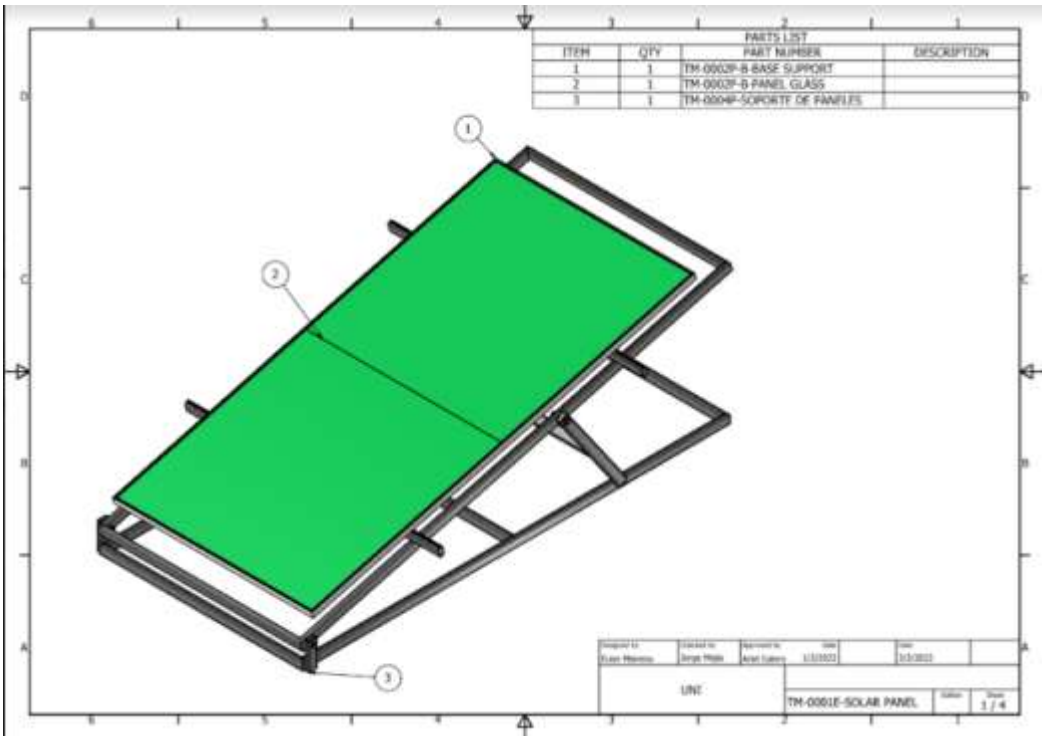
Anexo. 13 Plano de base estructura.



Anexo 14. Plano de base ajustable



Anexo 15. Plano de soporte de panel.



Anexo 16. Plano de panel fotovoltaico.

Managua, Nicaragua 27 de enero del 2023

Ing. Donal Pérez Palma

Administrador del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios.

Universidad Nacional de Ingeniería.

Estimado Ing. Donal Pérez Palma, reciba un cordial saludo.

Por medio de la presente nos dirigimos a usted solicitando un permiso para realizar mediciones con un analizador de redes a los paneles ubicados en la Facultad de Tecnología de la Industria, esto con la finalidad de elaborar nuestro trabajo monográfico para optar al titulo de Ingeniero Mecánico. El cual tiene por nombre: "Sistema fotovoltaico para el abastecimiento parcial y alterno del consumo energético del sistema de aire acondicionado instalado en el edificio de la Facultada de Tecnología de la Industria."

Durante el proceso de instalación del aparato y las mediciones nos comprometemos a acatar estrictamente las medidas de seguridad, tomando en consideración los riesgos y haciéndonos totalmente responsables de cada consecuencia.

Sin nada mas que añadir nos despedimos de usted esperando de nuestra solicitud una pronta respuesta positiva.

Alumno	Carné	Firma
Br. Jorge Alejandro Mejía Ojeda	20160-259U	
Tec. Euler Alexander Mairena Ruiz.	2010-33710	
Tec. Ariel Esteban Calero Gutiérrez.	2010-32598	

Anexo 17. Carta aprobada para medición de parámetros eléctricos.