



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LOPEZ MATEOS”

“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR  
ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ANTENA REMOTA DE BANDA ANCHA  
INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO UBICADA EN EL ESTADO DE  
TABASCO”.

SEMINARIO

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA  
INGENIERO ELECTRICISTA  
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACION

PRESENTAN:

MIGUEL ANGEL ALONSO MORENO  
DANIEL SANCHEZ MARTINEZ  
LUIS BERNARDINO MURILLO GUILLERMO



ASESORES:

M. EN C. MARLA ERIKA RAMIREZ SANCHEZ  
ING. ANA MARIA VERA JAIME

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**REPORTE TÉCNICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN SEMINARIO DE TITULACIÓN REG: DES/ESIME-ZAC/04.2017-04.2019/013/18/17  
DEBERA (N) DESARROLLAR C. MIGUEL ANGEL ALONSO MORENO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ANTENA REMOTA DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO”**

DISEÑAR UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DE FOTOCELDAS, PARA UNA ANTENA REPETIDORA BANDA ANCHA INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO, UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO EN EL MUNICIPIO DE TENOSIQUE, PARA TRANSMITIR INTERNET A LA LOCALIDAD DE EMILIANO ZAPATA SITUADO A 30 KM.

- ❖ MARCO TEÓRICO
- ❖ UBICACIÓN DE LA ANTENA REPETIDORA
- ❖ ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE TENOSIQUE TABASCO
- ❖ SELECCIÓN DE EQUIPOS

CIUDAD DE MÉXICO, A 18 DE MAYO DE 2018.

ASESORES

  
ING. ANA MARÍA VERA  
JAIME

  
M. EN C. MARLA ERIKA  
RAMÍREZ SÁNCHEZ

  
DR. SALVADOR RICARDO MENESES GONZÁLEZ  
JEFE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN  
COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



DEPARTAMENTO

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"**

**REPORTE TÉCNICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN

SEMINARIO DE TITULACIÓN REG: DES/ESIME-ZAC/04.2017-04.2019/013/18/17

DEBERA (N) DESARROLLAR

C. DANIEL SANCHEZ MARTINEZ

**"DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ANTENA REMOTA DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO"**

DISEÑAR UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DE FOTOCELDAS, PARA UNA ANTENA REPETIDORA BANDA ANCHA INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO, UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO EN EL MUNICIPIO DE TENOSIQUE, PARA TRANSMITIR INTERNET A LA LOCALIDAD DE EMILIANO ZAPATA SITUADO A 30 KM.

- ❖ MARCO TEÓRICO
- ❖ UBICACIÓN DE LA ANTENA REPETIDORA
- ❖ ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE TENOSIQUE TABASCO
- ❖ SELECCIÓN DE EQUIPOS

CIUDAD DE MÉXICO, A 18 DE MAYO DE 2018.

**ASESORES**

  
ING. ANA MARÍA VERA  
JAIME

  
M. EN C. MARLA ERIKA  
RAMÍREZ SÁNCHEZ

  
ING. JUAN DE JESÚS FIERRI ESCOBAR GÓMEZ  
JEFE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**REPORTE TÉCNICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA (N) DESARROLLAR

INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN  
SEMINARIO DE TITULACIÓN REG: DES/ESIME-ZAC/04.2017-04.2019/013/18/17  
C. LUIS BERNARDINO MURILLO GUILLERMO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LA ANTENA REMOTA DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO”**

DISEÑAR UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DE FOTOCELDAS, PARA UNA ANTENA REPETIDORA BANDA ANCHA INALÁMBRICA PUNTO A PUNTO, UBICADA EN EL ESTADO DE TABASCO EN EL MUNICIPIO DE TENOSIQUE, PARA TRANSMITIR INTERNET A LA LOCALIDAD DE EMILIANO ZAPATA SITUADO A 30 KM.

- ❖ MARCO TEÓRICO
- ❖ UBICACIÓN DE LA ANTENA REPETIDORA
- ❖ ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE TENOSIQUE TABASCO
- ❖ SELECCIÓN DE EQUIPOS

CIUDAD DE MÉXICO, A 18 DE MAYO DE 2018.

**ASESORES**

  
ING. ANA MARÍA VERA  
JAIME

  
M. EN C. MARLA ERIKA  
RAMÍREZ SÁNCHEZ

  
M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ  
JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN  
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



Instituto Politécnico Nacional.  
P r e s e n t e.

Bajo protesta de decir la verdad los que suscriben **Miguel Angel Alonso Moreno, Daniel Sanchez Martinez, Luis Bernardino Murillo Guillermo**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“Diseño de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la antena remota de banda ancha inalámbrica punto a punto ubicada en el estado de tabasco”**, en adelante **“La Tesis”** y de la actual se adjunta copia, dos discos por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal de Derecho de Autor, otorgamos a el **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **EL IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales para consulta de **“La Tesis”** por un periodo de **1 año** contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EL IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **EL IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La Tesis”**.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la **“La Tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de **“La Tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de **“La Tesis”** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México a 6 de Junio de 2018.

Atentamente



Luis Bernardino Murillo  
Guillermo



Daniel Sánchez  
Martínez



Miguel Ángel Alonso  
Moreno

## Índice:

Índice de tablas	i
Objetivo general	ii
Justificación	iii
Introducción	iv
Capítulo I Marco Teórico	5
1.1 La energía solar	10
1.1.1 La energía solar en México	
1.2 Funcionamiento básico de una antena	11
1.3 Sistemas fotovoltaicos autónomos	12
1.3.1 Configuración de un sistema fotovoltaico (SFV)	13
1.3.2 Celdas solares	15
1.3.3 Paneles solares	17
1.3.4 Baterías	19
1.3.5 Regulador de carga	22
1.3.6 Inversores	23
Capítulo II Ubicación de la Antena Repetidora	25
2.1 Localización de la Antena	25
2.2 Instalación de la Antena	28
Capítulo III Estudio Climatológico de Tenosique	29
3.1 Estudio climatológico de Tenosique	29
3.2 Calculo de equipo	35
Capítulo IV Selección de equipos	39
4.1 Caracterización de la antena Rocket M5 Ubiquiti	39
4.1.1 Especificaciones Técnicas	39
4.2 Selección de celdas fotovoltaicas	42
4.3 Selección de baterías	44
4.4 Selección del controlador de carga	45
4.5 Costo del proyecto	49
Conclusión	50
Bibliografía	51

**Objetivo:**

Diseñar un sistema de alimentación de energía a través de fotoceldas, para una antena repetidora banda ancha inalámbrica punto a punto, ubicada en el municipio de Tenosique, Estado de Tabasco, para transmitir internet a la localidad de Emiliano Zapata situado a 30 Km.

**Objetivos particulares:**

- Calcular el sistema fotovoltaico para almacenamiento y suministro de energía eléctrica para alimentación de la antena repetidora.
- Estudiar el lugar seleccionado, a través de los sistemas estadísticos de meteorológica de la NASA (Surface meteorology and Solar Energy) para calcular el nivel energético de la zona Emiliano Zapata del Estado de Tabasco.
- Seleccionar la Antena inalámbrica punto a punto, basada en las dimensiones y capacidad del total de fotoceldas, así como determinar la capacidad de las baterías.

**Justificación:**

En la actualidad, la comunicación inalámbrica está creciendo a grandes escalas, pero en ocasiones los tendidos de cableado o fibra óptica no son viables, de igual manera, la tecnología mejora constantemente, lo cual nos provee de los recursos necesarios para hacer uso de las energías renovables e implementarlas en el campo de las telecomunicaciones, permitiendo mantener comunicados sitios relativamente lejanos.

Hoy en día las telecomunicaciones inalámbricas requieren incrementar su cobertura debido a la gran demanda de usuarios en todas partes de la República Mexicana. Aún en los lugares más remotos en donde existe población que necesita estar bien comunicada y tener acceso a las nuevas tecnologías. En este proyecto se seleccionó el Municipio de Tenosique ubicado en el Estado de Tabasco.

La intención de usar paneles solares, es para aprovechar al máximo las condiciones naturales del entorno además que son energías limpias que actualmente socialmente son aceptadas debido a la conciencia que las personas están comenzando a tener para el futuro del planeta. En este proyecto se propone un sistema fotovoltaico para aprovechar las condiciones climatológicas del lugar, para que sea sustentable y reducir los gastos de operación y mantenimiento.

Dentro de la red de CFE existen lugares a los que no llega la energía eléctrica, debido a que no existe infraestructura. Este problema ha generado que se plantee una nueva infraestructura que abastezca de energía eléctrica a comunidades alejadas y principalmente para el funcionamiento de las antenas repetidoras en lugares remotos.



## **Introducción:**

La finalidad de este proyecto, es el aprovechamiento de la energía solar para convertirla en energía eléctrica por medio de paneles solares y almacenarla por medio de baterías, esto para alimentar la antena remota de banda ancha inalámbrica punto a punto Rocket M5, para suministrar internet, en el municipio de Tenosique en el Estado de Tabasco.

La mayoría de estas personas viven muy alejadas de las ciudades y es muy costoso llevar toda la infraestructura, estas comunidades por supuesto no tienen el dinero que se necesita. La energía solar soluciona este problema en gran medida, los paneles solares son capaces de brindar electricidad desde el mismo día que lleguen a los hogares.

Se realizó la búsqueda de información acerca del funcionamiento de todo lo relacionado con: las antenas, paneles solares, baterías, y además de antecedentes del uso de energía solar en México de esto con el fin de tener una mayor comprensión del tema hacia el lector.

Como se mencionó anteriormente, la antena se ubicara en el estado de Tabasco en el municipio de Tenosique, ya que la antena utiliza paneles solares como medio de producción de energía para auto sustentarse, fue necesario realizar un estudio climatológico de la zona de Tenosique, con el fin de obtener los valores necesarios para realizar los cálculos, la selección de los materiales y el desarrollo del proyecto, para posteriormente poder proseguir con la selección de los materiales en base a los cálculos obtenidos, y finalizando con la obtención del costo total del proyecto para su futuro desarrollo.

# CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

## 1.1 La Energía Solar

El sol, la fuente de energía más grande que hasta ahora conoce la humanidad. Cubre el planeta con suficiente energía para abastecer las demandas energéticas de todo el mundo por un año entero en tan sólo unas horas. No emite emisiones de dióxido de carbono, es gratis y no se acabará, por lo menos en unos miles de años.

La luz del sol y toda la luz contienen energía. Por lo general, cuando la luz golpea un objeto la energía se convierte en calor, al igual que el calor se siente al estar sentado en el sol. Pero cuando la luz incide en ciertos materiales, esa energía se convierte en una corriente eléctrica, la cual se ha aprendido a aprovechar con los paneles solares. Fuente: <http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>, Año 2018

Los paneles solares pueden ser de distintos tipos dependiendo del mecanismo escogido para el aprovechamiento de la energía solar.

En la actualidad existen básicamente tres formas de aprovechar la energía solar:

- Mediante captadores solares térmicos (energía solar térmica).
- Mediante módulos fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica).
- Sin ningún elemento externo (energía solar pasiva).

La energía solar térmica se basa en la idea de calentar agua mediante colectores solares que posteriormente se podrá utilizar en viviendas.

La energía solar fotovoltaica aprovecha las propiedades de silicio para generar una corriente eléctrica, que, tratada correctamente, se puede utilizar para suministrar energía en instalaciones autónomas o para contribuir con la red eléctrica.

La energía solar pasiva aprovecha la radiación solar sin la utilización de ningún dispositivo o aparato intermedio, mediante la adecuada ubicación diseño y orientación de los edificios. Aplicando criterios de arquitectura se puede reducir significativamente la climatización y la iluminación de los edificios.

La energía solar goza de numerosos beneficios que la sitúan como una de las más prometedoras. Renovable, no contaminante y disponible en todo el planeta, contribuye al desarrollo sostenible y a la generación de empleo en las zonas en que se implanta.

Igualmente, la simplicidad de esta tecnología la convierte en idónea para su uso en puntos aislados donde no alcanza a llegar la red local, zonas rurales o de difícil acceso. La energía solar también es útil para generar electricidad a gran escala e inyectarla en red, en especial en zonas geográficas cuya meteorología proporcione abundantes horas de sol al año.

Los módulos de captación solar requieren de un mantenimiento relativamente sencillo lo que, unido a la progresiva y acelerada disminución del coste de las células fotovoltaicas, explican las favorables perspectivas existentes actualmente para la tecnología solar. Las plantas solares, además, no emiten gases contaminantes y son extremadamente silenciosas.

Otro aspecto beneficioso de la energía que nace del sol es su condición de generadora de riqueza local, puesto que su implantación en un país disminuye la dependencia energética de otros países. Si bien es cierto que la energía solar es intermitente, esto es, directamente dependiente de la meteorología o de los ciclos día-noche, el rápido avance experimentado por las tecnologías de almacenamiento eléctrico va a minimizar cada vez más esta circunstancia e incrementar la participación de este tipo de energías en el sistema energético.

Cuando pensamos en la energía solar, son muchas las ventajas que vienen a nuestra cabeza, parece que este tipo de energía se nos ofrece día tras día con la salida del sol y, al ser México un lugar tan favorecido por esta estrella, se convierte en un tipo de energía que podríamos calificar como interesante.

Estas son las principales ventajas de la energía solar:

No contamina

La más importante de todas las ventajas es que este tipo de energía no contamina. Se trata de una energía mucho más limpia que otras como la energía nuclear, y no digamos ya que las energías basadas en combustibles fósiles.

El uso de sistemas solares permite la producción de energía con bajo impacto ambiental, ya que no requiere materias primas fósiles para desencadenar procesos de combustión y, por lo tanto, no introduce sustancias nocivas en la atmósfera.

Fuente inagotable de energía

Al estar hablando de la energía solar se puede afirmar que es una fuente inagotable, es decir, se trata de una energía renovable que proviene de una fuente inagotable que es el sol, por lo que no hay que preocuparse porque se vaya acabando, al menos no en muchos millones de años.

De hecho, la irradiación promedio que alcanza la superficie de la tierra es igual a 1000 W por cada metro cuadrado de superficie, y está totalmente a nuestra disposición. Cuando hay sistemas solares con rendimientos que aprovecharán el 70/80 por ciento, la energía fotovoltaica será el método más utilizado en el mundo para la producción de energía.

Bajo costo

A pesar de suponer un importante costo de inversión cuando hacemos la instalación de un sistema de paneles solares, quienes decidan enfocarse en esta tecnología verán que el costo de la factura de electricidad cae significativamente, tendrán la satisfacción de producir la energía que consume y podrá revender el exceso en la red nacional.

Piensa además que vas a ahorrar dinero a medida que la tecnología va avanzando, mientras que el costo de los combustibles fósiles aumenta con el paso del tiempo porque cada vez son más escasos.

Variedad en el uso de la fuente solar

La energía proveniente del Sol se puede usar de diferentes maneras: Con un sistema solar fotovoltaico, que transforma la luz dirigida hacia los paneles en electricidad; con un sistema solar térmico, que permite utilizar el calor proveniente de los rayos del sol para calentar un fluido, utilizado posteriormente, por ejemplo, para calentar las casas; con un sistema solar termodinámico, que reúne las dos características de las primeras plantas mencionadas.

De hecho, es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (zonas rurales, montañosas, islas), o es dificultoso y costoso su traslado ya que podemos adaptarlo a distintos sistemas de usos tal y como acabamos de señalar. (<https://solar-energia.net> marzo 2018)

Facilidad de desmontaje y reutilización de los paneles fotovoltaicos:

A diferencia de las instalaciones nucleares, cuyos productos de desecho son radiactivos y difíciles de almacenar, las instalaciones solares no crean ningún tipo de residuo, de hecho, hasta el 95% de un solo panel puede ser reciclado y, por lo tanto, tiene consecuencias muy bajas de impacto ambiental.

Otras ventajas de la energía solar son:

- Los sistemas de captación solar que se suelen utilizar son de fácil mantenimiento, lo que facilita su elección.
- La energía solar fotovoltaica no requiere ocupar ningún espacio adicional, pues puede instalarse en tejados y edificios.
- La disponibilidad de energía solar reduce la dependencia de otros países para el abastecimiento de energía de la población.
- Es un sector que promueve la creación de empleo, necesario para la fabricación de células y paneles solares, como para realizar la instalación y el mantenimiento de la misma.
- Es un tipo de energía que está en alza. Cada vez más gente apuesta por este tipo de energía para abastecer sus hogares, y los gobiernos y empresas parece que, poco a poco, comienzan a darse cuenta de la importancia de apostar por fuentes de energía limpias y alternativas.

Algunas desventajas de la energía solar.

Cuando pensamos en las desventajas de este tipo de energía renovable, suele costarnos mucho más pensar en algo en concreto salvo que estéticamente, no queda especialmente bonito cuando se decide instalarlo en los campos o en las casas. Pero si afinamos un poco más el ojo crítico, hay que reconocer que la energía solar todavía presenta algunos inconvenientes, pero la mayoría de ellos, al contrario que con otras energías contaminantes, pueden ser subsanados.

### El costo de instalación

Como se mencionó anteriormente, el coste de la planta fotovoltaica puede ser alto, pero el tiempo de recuperación (gracias al ahorro en la factura de electricidad) es seguro, y siempre se estima entre 5 y 10 años. Últimamente los investigadores están buscando soluciones innovadoras de bajo costo, como polímeros semiconductores o células de concentración.

### Bajos rendimientos

Desafortunadamente, las tecnologías existentes tienen rendimientos muy bajos en comparación con otras plantas de producción; esto significa que la energía producida es aproximadamente un tercio de la energía que teóricamente podría producirse (las células de primera generación que son las más comunes, tienen rendimientos de alrededor del 33%, mientras que, por ejemplo, una turbina eólica puede tener un rendimiento entre 40 y 50%).

Muchas veces se debe complementar este método de convertir energía con otros, como por ejemplo las instalaciones de agua caliente y calefacción, requieren una bomba que haga circular el fluido.

### Área de instalación extendida

Al tener una concentración baja, la luz solar debe ser capturada por las superficies más anchas posibles. Es un problema construir plantas grandes, porque requieren áreas grandes y pueden tomar tierras que pueden usarse, por ejemplo, para la agricultura.

### Discontinuidad del recurso e incapacidad de grandes acumulaciones

El mayor problema es que el Sol no siempre está allí. En un día nublado y en la noche no es posible contar con la contribución de energía del sol. Sin embargo, el usuario también necesita energía en estos dos casos. La solución proviene de almacenar energía solar que no se usa cuando el sol está allí. Desafortunadamente, las baterías de acumulación que existen hoy en día no son capaces de garantizar una cubierta de energía lo suficientemente grande como para resolver el problema.

Estos son los pros y los contras de una energía que el hombre ha usado desde que apareció en la Tierra (el crecimiento de las plantas a través de la energía solar fue probablemente la primera fuente a partir de la cual se hizo el fuego). Ahora depende de ti tener una idea de si es conveniente o no usarlo.

### La energía solar en la actualidad

La energía solar es una energía que siempre ha estado ahí, latente, pero que realmente no se ha desarrollado lo suficiente si la comparamos con otros tipos de energía, como los combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural) o la energía nuclear. A decir verdad, la mayor parte de las energías renovables van con retraso respecto a otras, pero parece que la situación está cambiando poco a poco.

### Tipos de energía solar

Existen diferentes tipos de energía solar dependiendo del método de recogida, la transformación de la energía que se realice y sus aplicaciones. Estos son los principales tipos de energía solar que se pueden distinguir:

#### Energía solar pasiva

Es el conjunto de infraestructuras encaminadas a obtener la energía directamente del sol, sin transformar. No emiten ningún tipo de gases que contribuyan al efecto invernadero y la energía puede ser consumida en el momento o acumulada para aprovecharla en el futuro.

Utilizar ventanas orientadas al sur para proporcionar iluminación natural y calefacción para su hogar son ejemplos de energía solar pasiva.

#### Energía solar activa

En este caso, las infraestructuras convierten la energía solar en calor. En este caso se utilizan sistemas como ventiladores o bombas para almacenar la energía. Este tipo de energía solar se puede utilizar para calefacción o como calentador de agua, por ejemplo, en el que las bombas se utilizan para hacer circular el agua a través del sistema.

#### Energía solar térmica

Se trata del aprovechamiento de la energía de los rayos del sol para producir calor y energía destinada al consumo sanitario a pequeña escala, es decir, para calefacciones o sistema de calentamiento de agua en viviendas.

#### Energía termoeléctrica

La energía solar termoeléctrica se basa en el calentamiento de líquidos por efecto del sol. Estos líquidos se utilizarán en un ciclo termodinámico para producir energía eléctrica, generalmente a gran escala.

#### Energía fotovoltaica

Este tipo de energía solar produce energía y calor renovables a través del uso de células fotovoltaicas. Estos aparatos son capaces de transformar los fotones, esto es, la energía lumínica, en electricidad. Suelen tener una vida útil cercana a los 25 años.

## Energía eólico solar

Se trata de una especie de chimenea pintada de negro en la que se almacena el aire que será calentado por los rayos del sol. Su gran problema es que es difícil calentar el aire lo suficiente, por lo que para que este sistema sea efectivo las chimeneas de aire deben tener una gran altitud. (<https://erenovable.com/energia-solar-ventajas-y-desventajas/> marzo 2018)

### 1.1.1 La energía solar en México

Actualmente la mayor parte de la energía eléctrica del país se produce a través de la generación hidroeléctrica (presas, ríos, etc.) y termoeléctrica (quemando combustibles como el gas, petrolero y carbón).

México es uno de los 5 países en el mundo con mayor atractivo para invertir en energía solar, y es que el país tiene un tremendo potencial, prácticamente todo el país cuenta con una excelente radiación. En la figura 1.1 se puede observar las zonas de mayor y menor producción de radiación solar a lo largo de la república mexicana.

Fuente: <http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/> 2018

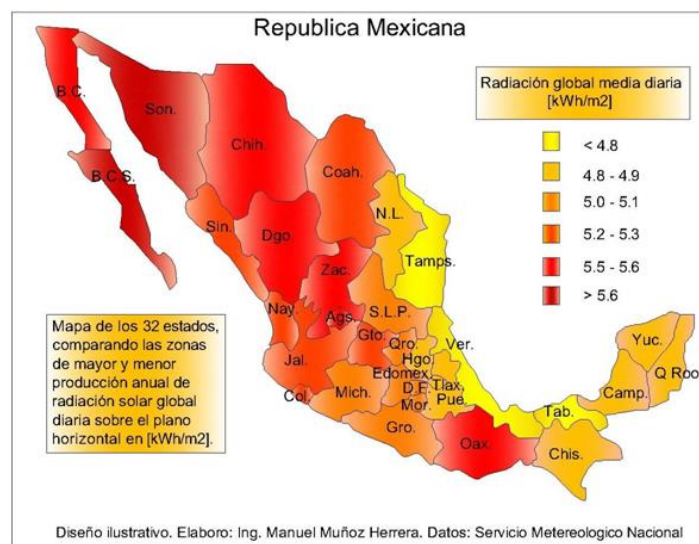


Figura: 1.1. Estados de la República Mexicana con mayor índice de radiación

La energía solar en México está creciendo muy rápido y los expertos consideran que crecerá aún más rápido. Tan sólo en el 2015 las instalaciones de paneles solares crecieron un 100% con respecto al 2014, que tampoco fue un mal año. (<http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico> marzo 2018)

## 1.2 Funcionamiento básico de una antena

Las antenas son dispositivos que permiten transformar la energía electromagnética que va por un conductor, guía de onda u otro dispositivo que transporta una señal de radio frecuencia, a una onda electromagnética que viaja por el espacio, es decir, transforma voltaje en ondas electromagnéticas y viceversa. Las antenas son dispositivos resonantes y sistemas recíprocos, lo que permite transmitir y recibir con el mismo dispositivo sólo a un ancho de banda específico y limitado.

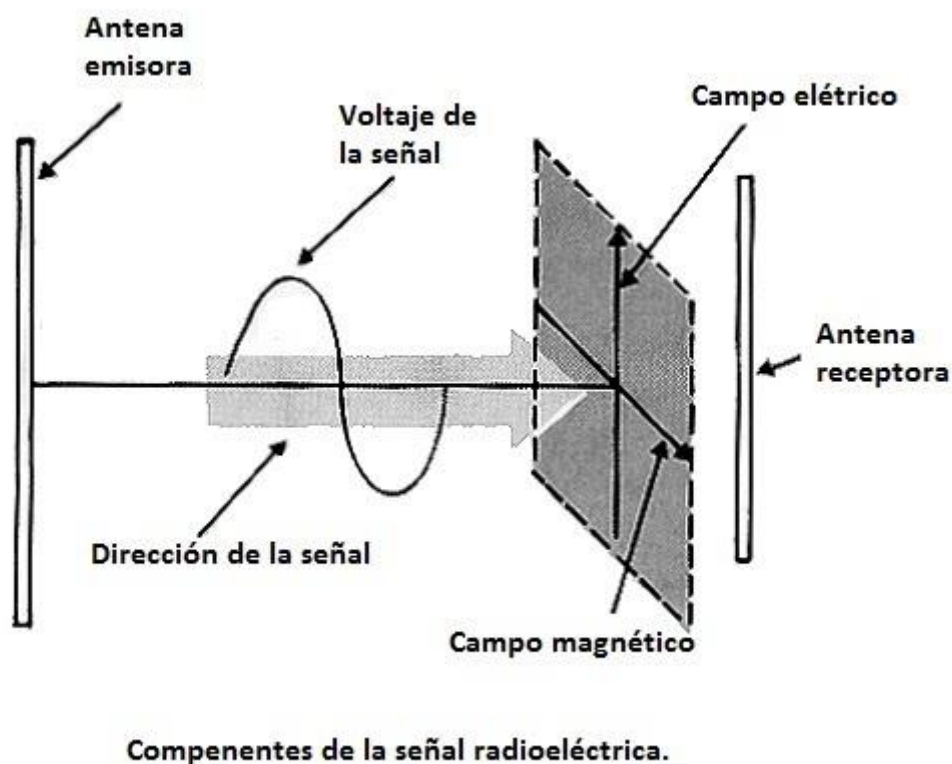


Figura 1.2 Señal radioeléctrica emitida por Antenas Planas

Las antenas tienen ciertas características que cambian de acuerdo a la aplicación en que se esté trabajando. De acuerdo a estas características se pueden clasificar de diferentes maneras.

En este proyecto utilizaremos Antenas de Punto a Punto y profundizaremos en sus características y aplicaciones.



Los enlaces punto a punto permiten interconectar 2 redes remotas como si fueran una misma, mediante un canal de comunicación inalámbrico. Dichos enlaces son viables desde 500 mts o menos hasta una distancia máxima aproximada de 80 Km. Estos enlaces podrían tener los siguientes usos:

- Comunicación de red, internet, video y telefonía IP para una empresa, sucursal, casa de campo, rancho o facilidad ubicada en áreas remotas donde los servicios de Internet no llegan.
- Interconexión de las redes de 2 ubicaciones o extensión de la red de 1 ubicación a otra, permitiendo intercambio de archivos, impresión en red, internet compartido, servicios de red, aplicaciones, intranet, etc.
- Interconexión de las redes de 2 ubicaciones para enlazar servicios de voz mediante VOIP, permitiendo comunicación de extensiones, líneas telefónicas compartidas y enlace a líneas virtuales.
- Interconexión de las redes de 2 ubicaciones para compartir servicios de video vigilancia y monitoreo de espacios a distancia.

En la figura 1.3 se puede apreciar un ejemplo de enlace punto a punto.



Figura 1.3

### 1.3 Sistemas fotovoltaicos autónomos.

Un sistema fotovoltaico (FV) consiste en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica. Dicha conversión se realiza a través de celdas solares, las cuales producen el efecto fotovoltaico.

La energía solar fotovoltaica está indicada para aplicaciones donde se necesite generar electricidad o bien para satisfacer las necesidades de aquellos que no

disponen de suministro por parte de la red eléctrica (CFE) o bien para contribuir a la generación sistemas conectados a la red.

Así como tal un sistema fotovoltaico autónomo se define como el conjunto de componentes y subsistemas que combinados convierten la radiación solar en energía eléctrica adecuada para la conexión a una carga de utilización, independientemente de cualquier red de producción y distribución de energía eléctrica.

Estos sistemas, dependiendo de su configuración se dividen en dos categorías:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos.
- Sistemas híbridos, que integran otras fuentes de energía, ya sea eólica o un grupo electrógeno.
- Sistemas de interconexión a la red eléctrica (CFE).

Dado que este proyecto trata sobre el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para alimentar una antena en el estado de Tabasco. Nos encontramos dentro de la primera clasificación anteriormente citada.

Una de las principales características de estos sistemas de generación de energía que la diferencia de otros sistemas de energía renovables es que únicamente producen electricidad cuando reciben la luz del Sol y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la radiación solar que incide sobre su superficie.

Por ejemplo, para un sistema de iluminación donde se requiere energía durante la noche, es necesario incluir un sistema de almacenamiento energético o de acumulación, en los sistemas FV la energía producida por las celdas solares es almacenada en baterías.

### 1.3.1 Configuración de un sistema fotovoltaico (SFV).

SFV de uso diurno.

El sistema más simple en el cual un SFV se conecta es directamente a la carga, no requiere batería ni componentes electrónicos, es sistema de uso diurno, ya al no contar con baterías la energía no puede ser almacenada y solo puede ser utilizada durante el día. En la figura 1.4 se muestra un diagrama de esta conexión.

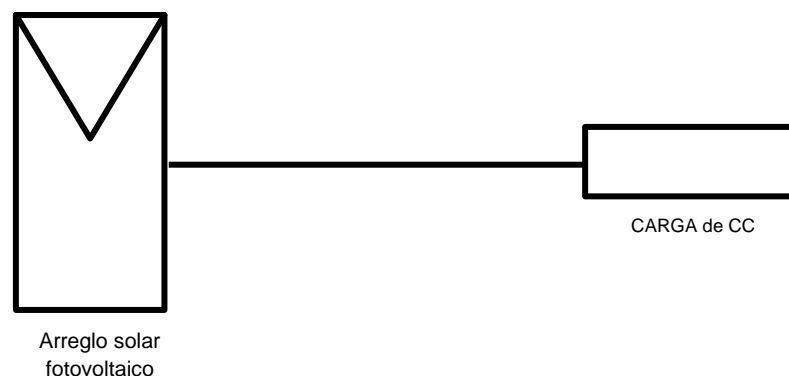


Figura 1.4. Sistema de uso diurno.

### SFV CD.

En este sistema se incorporan baterías que son cargadas durante el día, poder utilizar la anergia almacenada durante la noche. Requiere de un regulador de carga para que la batería no se sobrecargue, ver figura 1.5

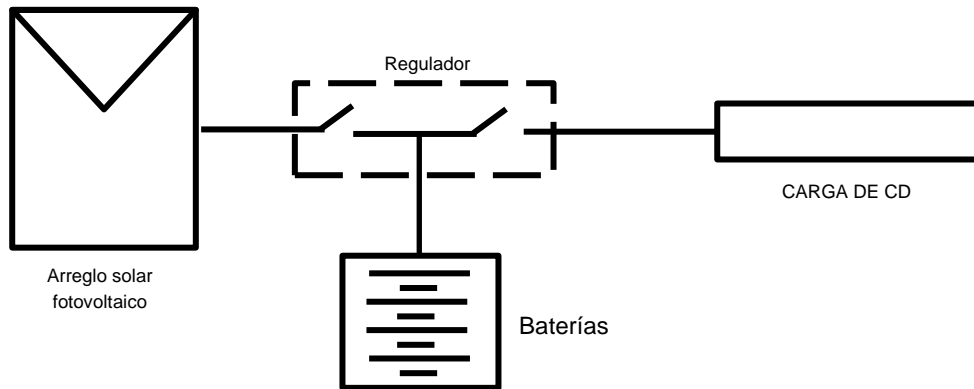


Figura 1.5. Sistema con almacenamiento de energía.

### SFV CD + CA.

En este sistema además de alimentar cargas en CD, se alimentan cargas en CA por medio de un inversor conectado a la salida de las baterías. Puede ser utilizado tanto en el día como por la noche, figura 1.6.

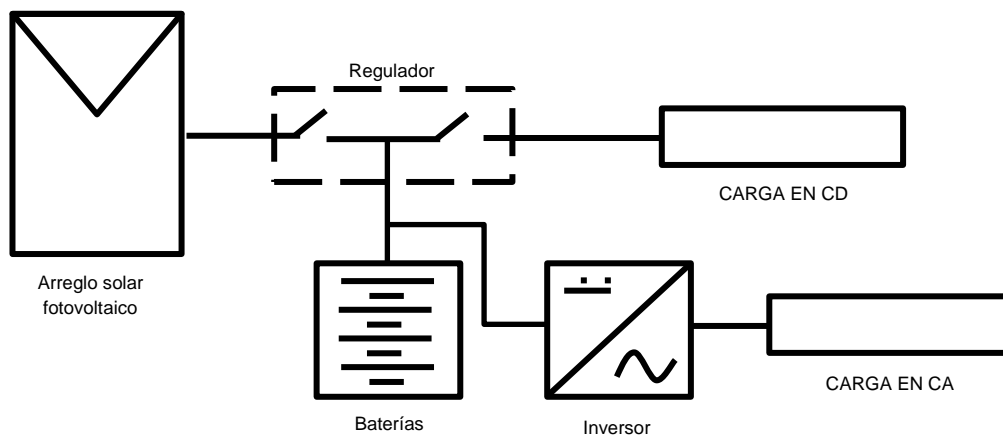


Figura 1.6. Sistema con carga CD + CA.

### 1.3.2 Celdas solares.

Una celda solar es un dispositivo electrónico que convierte la energía luminosa, en energía eléctrica. Es decir, absorbe los fotones de luz para liberar electrones que pueden utilizarse en una corriente eléctrica.

Estos dispositivos están fabricados de dos tipos de materiales semiconductores, uno de carga positiva (p) y uno de carga negativa (n). Cuando son expuestos a la luz permiten que un fotón de luz solar “arranque” un electrón, el electrón libre deja un hueco que será llenado por otro electrón que a su vez fue arrancado de su propio átomo.

El principio de una celda es que mediante la unión de dos regiones de un cristal semiconductor con distintas conductividades se cree este campo eléctrico, y conseguir que circulen las cargas negativas y positivas en sentidos opuestos. Así se crea una diferencia de potencial en el material.

El material más utilizado para fabricar estas celdas es el silicio (Si).

La mayor parte de las celdas fabricadas al día de hoy son de tipo monocristalino o policristalino de material de silicio. El más común es el monocristalino, aunque el proceso de fabricación es más laborioso y esto lleva a aumentar su costo final.

En la figura 1.7 se puede observar el comportamiento de una celda solar. Hay tres tipos de celdas solares según su naturaleza.

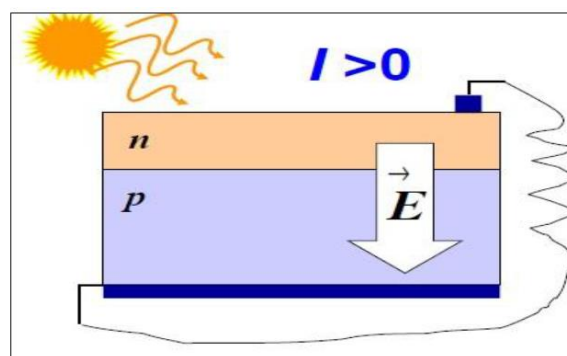


Figura 1.7. Funcionamiento de celda solar.

- Silicio amorfo. Formado por silicio hidrogenado no cristalino. El silicio se deposita en forma de una delgada capa sobre un soporte transparente y no compone una estructura cristalina ordenada. Este tipo de silicio permite fabricar celdas con muy poco espesor, tiene una eficiencia inferior a 10%.

- Silicio monocristalino. En este caso todos los átomos están ubicados simétricamente tiene una orientación cristalina con una eficiencia entre el 15 y 18 %.
- Silicio policristalino. Fabricado en silicio sobre otro sustrato, las direcciones de los átomos de este material van cambiando de dirección a lo largo del proceso de fabricación, cuenta con una eficiencia entre el 12-14%.

Las celdas policristalinas ofrecen un menor rendimiento, pero tienen la ventaja de poder ser fabricadas más delgadas. En cuanto a las de silicio amorfo tienen buenas propiedades físicas, pero tienen la desventaja de sufrir una disminución de su rendimiento en exposiciones prolongadas al sol. En la figura 1.8 se muestra una imagen de cada celda.

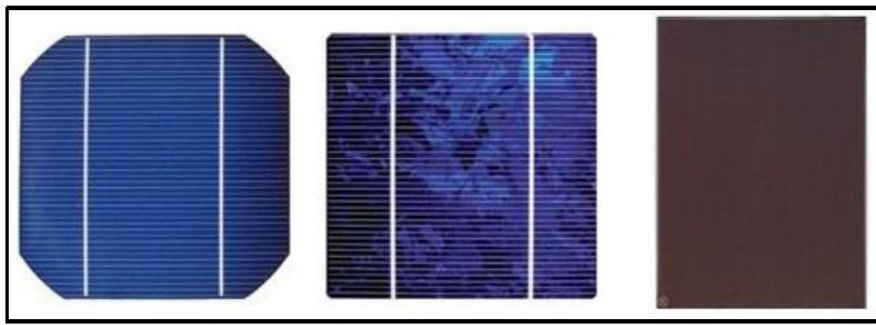


Figura 1.8. Celda monocristalino, policristalino y silicio amorfo (de izquierda a derecha)

El panel se comporta como una fuente de intensidad, un diodo p-n ideal, la resistencia  $R_p$  (paralelo) representa las perdidas por fuga en los bordes de la celda. Por otro lado, la resistencia  $R_s$  (serie) se debe a la propia resistencia de la malla metálica y a los contactos metálicos con el conductor.

En la figura 1.9 se muestra el circuito equivalente utilizado para representar a una celda solar:

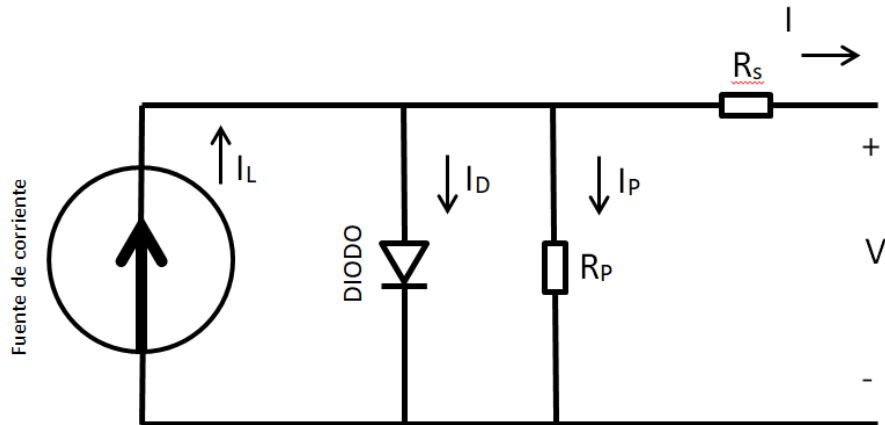


Figura 1.9. Circuito equivalente de una celda solar.

### 1.3.3 Panel solar.

Por lo general las celdas solares por si solas emiten poca potencia y por consiguiente poco voltaje y corriente. Dado que estos parámetros son escasos para abastecer equipos de mediana potencia, se conectan eléctricamente varias celdas iguales, en serie y/o paralelo, dando lugar a los paneles solares fotovoltaicos, que estarán formados de entre 30 – 36 celdas solares, para así obtener la corriente y el voltaje deseado.

Un panel no está conformado solo por celdas solares conectadas entre si, la primera capa está formada por vidrio templado para proteger a las celdas de las condiciones climatológicas a las que estará expuesto, golpes o arañazos que puedan afectar la eficiencia del panel. Este vidrio debe ser tratado con anti reflejante para dejar pasar la radiación solar al máximo.

En la parte superior como en la inferior de la matriz de las celdas, se colocan unas láminas de Etil Vinil Acetato (EVA), que es un termoplástico muy transparente y flexible con buenas propiedades mecánicas.

En la parte posterior se instala una capa de tedlar, que es una resina con una alta durabilidad y resistencia al desgaste. Y con adhesivo llamado RTV se pega la caja de conectores al tedlar.

Cuenta además con bornes de conexión (positivo y negativo), protegidos a la intemperie por, medio de cajas estancas. Y un diodo de protección, el cual evita sobrecargas u otras alteraciones en el funcionamiento del panel.

Todas las partes del panel se encuentran encapsuladas en un marco de aluminio como lo podemos observar en la figura 1.10.

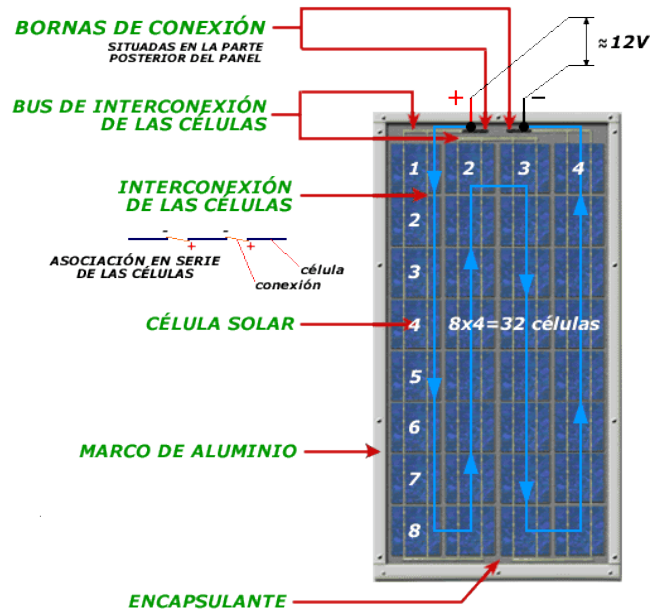


Figura 1.10. Panel solar

### Parámetros eléctricos de un panel solar.

- Potencia máxima ( $P_{max}$ ): Al conectarse una carga al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente y el voltaje que esta demande.
- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ): Es el máximo voltaje que proporciona el panel solar entre sus bornes en vacío.
- Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ): Intensidad de corriente máxima que se obtiene al cortocircuitar los bornes del panel.
- Punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ): Es el punto en el cual el panel entrega la máxima potencia para una corriente y voltaje máximos. En este punto el panel da su máximo rendimiento. El cual se podrá apreciar mejor en la figura 1.11 imagen que muestra el comportamiento del panel en este punto.

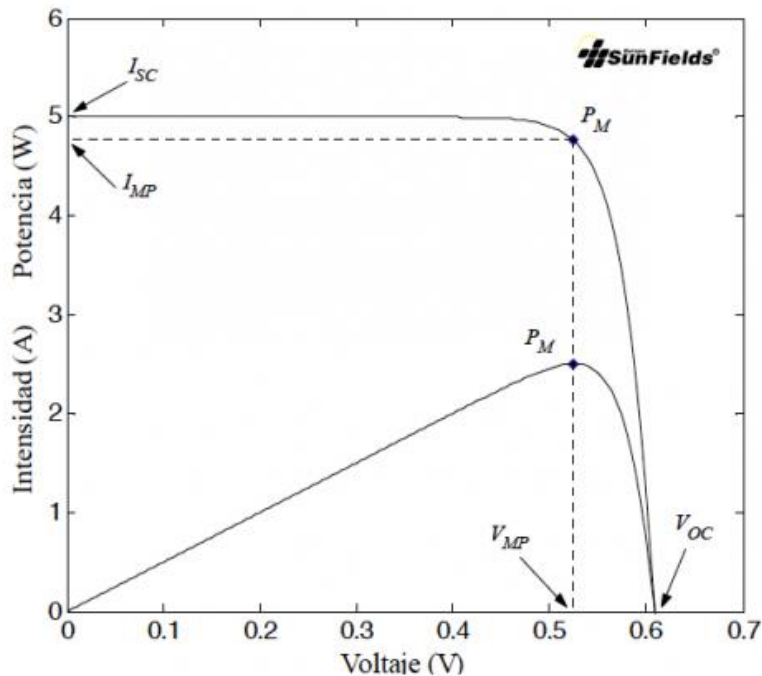


Figura 1.11. Curva característica de potencia máxima en un panel solar.

Como se observa los valores de  $I_{mp}$  y  $V_{mp}$  son inferiores a los valores de  $V_{oc}$  y  $I_{sc}$ .

- Eficiencia. Es la relación que existe entre la potencia máxima entregada por el panel y la potencia de radiación solar que incide.

La potencia de la radiación solar incidente es el producto de S y G, donde:

- S es la superficie de la placa solar en  $m^2$
- G es la irradiancia solar en  $kW/m^2$
- Factor de forma. Es la relación entre la potencia máxima entregada por el panel y el producto de la corriente de corto circuito por el voltaje de vacío.

### 1.3.4 Baterías.

Las baterías en un sistema fotovoltaico autónomo son parte fundamental del sistema pues su función es la de acumular la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante las horas de Sol para poder utilizarla durante la noche o en días nublados.

Una batería consta de una o varias celdas electroquímicas que pueden transformar la energía química en energía eléctrica. Cada celda consta de un electrodo positivo o cátodo, y un electrodo negativo, ánodo, y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, permitiendo que la corriente fluya fuera de la batería para poder alimentar un circuito eléctrico.

Las baterías están constituidas por elementos de dos volts que conectados en serie proporcionan tensiones de operación de 12Vcc, 24 Vcc, 48Vcc, etc. La capacidad (Ah) de un grupo de baterías es igual a la capacidad de cada uno de los elementos



que lo componen, si se conectan baterías en paralelo se suma la capacidad de sus elementos. La capacidad necesaria de las baterías para un sistema FV se calculan en función de los consumos y al número de días de autonomía del sistema.

Es importante también hacer énfasis en el dimensionamiento del acumulador con relación al generador FV, ya que un exceso de capacidad en el almacenamiento presentaría dificultades al cargarse la batería. Por el contrario, una baja capacidad da lugar a poca autonomía y se corre el riesgo de quedarse sin suministro de energía.

Las figuras 1.12 (a) y 1.12 (b) se muestran las conexiones de las baterías.

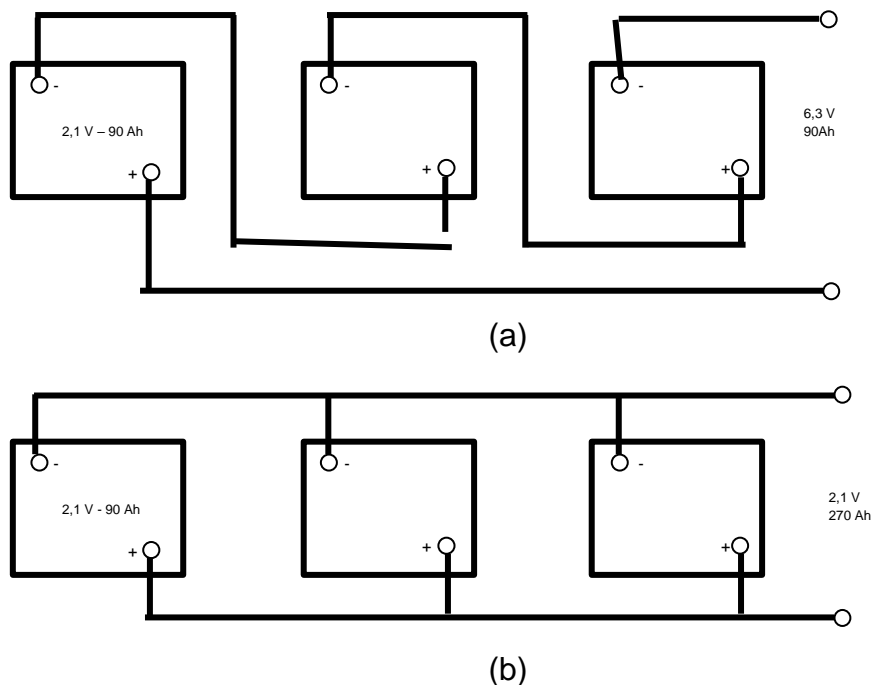


Figura 1.12. (a) Conexión en serie, (b) conexión en paralelo.

Como se observa durante la conexión en serie el voltaje se suma y se eleva, mientras que la conexión en paralelo se suma la capacidad Ah.

En el mercado existen diferentes tipos de baterías, entre las que destacan:

- Baterías de plomo-acido.
- Baterías alcalinas (Níquel-cadmio).
- Baterías de iones de litio.

Aunque las más utilizadas en sistemas fotovoltaicos, son las de plomo-acido de selladas de ciclo profundo, es decir que tienen una carga y descarga más lenta. Están compuestas por celdas, cada una constituida por una placa de plomo (Pb) y una placa de dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>), en una solución conocida como astrolito compuesto por ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con agua.

○ Tipos de batería.

- Baterías abiertas.

Como su nombre lo indica se puede acceder al electrolito a través de los tapones de cada vaso, al estar abiertas se puede controlar el estado de carga de acuerdo a la densidad del electrolito.

- Baterías selladas.

Para este tipo de baterías existen de gel y AGM (Absorbed Glass Mat) separador de vidrio absorbente, son especialmente utilizadas para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos, debido a que no requieren mantenimiento, su desventaja es que no admiten descarga profunda, es decir, se necesita controlar su descarga. También son llamadas VRLA (Valve Regulated Lead Acid) o batería regulada por válvula.

- Baterías de gel.

En esta batería, se agrega un compuesto de sílica al electrolito, que provoca que el líquido se vuelva una masa sólida como gelatina, así si la batería se llegase a romper o sufrir algún daño, no existe riesgo de fuga de líquido.

- Baterías AGM

Usan separadores de en sus celdas que están hechas de fibra de vidrio micro poroso absorbente, que actúa como esponja, absorbiendo el electrolito en el proceso de descarga y liberando en el proceso de carga de la batería.

- Características de operación.

Cuando las baterías se someten a descargar profundas o no son utilizadas por tiempo prolongado, tiende a acumularse sulfato de plomo en las placas, que se puede recuperar en el proceso de carga, pero pierde capacidad de acumulación y su vida útil disminuye.

Si la temperatura desciende, la viscosidad del electrolito se vuelve mayor y el proceso de difusión iónica es más lento. La resistividad del electrolito aumenta en forma significativa al disminuir la temperatura. Pero a temperaturas por debajo de 0°C, el electrolito puede llegar a congelarse. Es por eso que en instalaciones ubicadas en zonas frías se utiliza ácido más concentrado, para asegurar que el electrolito no alcance punto de congelación.

Las baterías en SFV operan en ciclos de cargas y descargas, intercambiando energía con el resto del sistema. Diariamente el ciclado se caracteriza por un cierto número de ciclos cuya profundidad o cantidad de carga extraída en cada ciclo relativa a la capacidad nominal de la batería, depende de las condiciones de generación, que son en función de la radiación y de la demanda de carga. Según el consumo de carga el ciclado puede ser superficial, profundidad de ciclado diario menor del 15% o profundo, mayor del 80%. La vida útil es el periodo durante el cual la batería es capaz de operar bajo las determinadas de la carga, manteniendo el nivel de rendimiento requerido. Es recomendable mantener la profundidad de ciclado diaria entre 15% y 20% la capacidad nominal.

Capacidad de la batería.

La capacidad es una medida de la batería para poder almacenar o suministrar energía eléctrica, y se expresa en amperes-hora (Ah).

Las bajas temperaturas disminuyen la capacidad de las baterías. Por el contrario, las temperaturas elevadas aumentan la capacidad, sin embargo, reducen significativamente su tiempo de vida. La mayoría de los fabricantes recomiendan utilizar temperaturas entre 20°C y 30°C.

El régimen de descarga afecta de igual manera la capacidad de la batería. Cuando la batería se descarga a altas corrientes, las reacciones químicas quedan confinadas en las capas del material activo en contacto inmediato con el electrolito. Limitando la capacidad. De manera contraria cuando la descarga se hace lentamente se obtiene una mayor capacidad. El régimen no se mide en amperes sino en horas necesarias para plena descarga hasta un determinado voltaje de corte.

El voltaje de corte por sobrecarga también depende del régimen de corriente de descarga. Este valor es proporcionado por el fabricante, para batería plomo-acido este voltaje suele ser 1.75 VCD.

El auto descarga de la batería ocurre de modo natural cuando se mantiene en circuito abierto sin ningún tipo de consumo, debido a mecanismos internos del propio diseño la batería.

Consideraciones a tomar en cuenta en baterías.

Para poder diseñar un banco de baterías debemos tomar en cuenta los siguientes puntos.

- Días de autonomía de baterías.
- Capacidad de baterías.
- Profundidad y régimen de descarga.
- Esperanza de vida útil.
- Condiciones ambientales.
- Costo.
- Mantenimiento.

### 1.3.5 Regulador de carga.

Cumple con la función en un sistema FV de controlar el proceso de carga y descarga de las baterías, para que estas no sufran sobre cargas o sobre descargas, que afectarían la eficiencia del sistema o la vida útil de las mismas. Los reguladores son capaces de desconectar el consumo cuando comprueba que la batería ha superado el límite de la capacidad nominal de almacenamiento.

Otra característica importante es que controla el flujo de corriente desde los paneles hacia la batería, así como también el flujo de corriente de descarga de la batería hacia la carga.

Si el regulador censa un voltaje cercano a los 13.8 V, corta la corriente impidiendo una sobrecarga en la batería. De igual manera si detecta un voltaje entre los 11.2 o

11.4, desconecta el consumo evitando así una descarga profunda, esto ocurre regularmente por la noche.

## Tipos de reguladores

### Reguladores serie y paralelo.

El principio de operación del regulador serie es un interruptor que se coloca en serie entre el generador fotovoltaico y la batería. Actúa desconectando el panel de la batería cuando la tensión alcanza cierto valor, evitando la sobrecarga. El regulador incluye un interruptor entre la batería y la carga para evitar una sobre descarga, interrumpiendo el suministro de energía.

El regulador paralelo funciona por disipación de exceso a través de un transistor o MOSFET conectado en paralelo con el panel y el sistema de batería. Cuando la tensión del acumulador está por encima del valor preestablecido, el dispositivo limita la corriente que llega a la batería.

### Reguladores de carga enclavada.

Como ya se mencionó la principal función del regulador es la de prevenir la sobre carga de la batería, para conseguir esto existen reguladores que reducen la corriente de carga utilizando una tecnología llamada modulación de anchura de pulso (PWM), por sus siglas en inglés, este administra la carga en fases, permitiendo alcanzar una tensión máxima segura para que la batería alcance la carga completa, y luego disminuye para mantener la carga de la batería en fase de flotación.

### Reguladores de carga con MPPT

Estos reguladores como MPPT (Maximum Power Point Tracking), funcionan realizando un seguimiento del punto máximo de potencia, estos reguladores censan la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos y se ajustan a los máximos de tensión y corriente. A diferencia con el regulador PWM que operan con la tensión de la batería y obligan a los módulos a trabajar en esta tensión.

## 1.3.6 Inversores

Los sistemas fotovoltaicos generan corriente continua. Para poder utilizar corriente alterna es necesario utilizar un dispositivo electrónico llamado inversor, que convierte la CC en CA.

Las funciones de los inversores son: conversión de CC/CA, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida. Pueden operar conectados a las baterías o directamente del generador fotovoltaico y suministrar energía diferentes cargas. Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida:

- De onda cuadrada.
- De onda modificada o semi-senoidal.
- De onda senoidal.

Los inversores de onda cuadrada se basan en un simple análisis de la potencia de CC de entrada, con muy poca modulación. La onda resultante tiene un gran contenido de armónicos no deseados. La distorsión armónica total (THD) es bastante elevada, en torno al 40%, y su rendimiento está en torno al 50%-60%.

Los inversores de onda semi-senoidal presentan una THD del 20% y sus rendimientos son mayores del 90%.

Los inversores de onda completa tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada, en general son la mejor opción para la alimentación de cargas de CA, no presenta ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión.

En la figura 1.13 se observa la forma de onda de salida del inversor a diversos THD

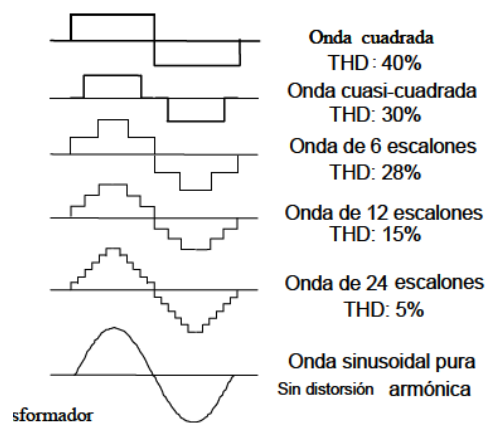


Figura 1.13. Formas de onda generada por inversores.

Configuración de los inversores.

La electrónica de potencia utilizada en los inversores, son los tiristores (SCR y GTO) y los transistores de potencia (MOSFETs, bipolares e IGBT). A mayor frecuencia de conmutación se obtiene una onda de salida mucho más cercana a la sinusoidal ideal con menor contenido de armónicos y factores de potencia mayores.

Los inversores empleados en aplicaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos categorías: los auto conmutados y conmutados por la red. Los auto conmutados pueden funcionar como fuente de corriente o de tensión, los conmutados por la red solo como fuente de corriente. Por ello los auto conmutados suelen utilizarse más a menudo en aplicaciones autónomas.

## Capítulo II Ubicación de la antena repetidora

### 2.1 Localización de la antena

El municipio de Tenosique se localiza en la región de Los Ríos, tiene como cabecera municipal a la ciudad de Tenosique de Pino Suarez, la que se ubica al sur del estado, entre los paralelos 17°28.5' de latitud norte y los 91°25.6' de longitud oeste.

Colinda al norte con el municipio de Balancán, al sur con el estado de Chiapas y la república de Guatemala, al este con la república de Guatemala, al oeste con los municipios de Emiliano Zapata en Tabasco y Chilón en Chiapas, como se observa en la figura 1.14.

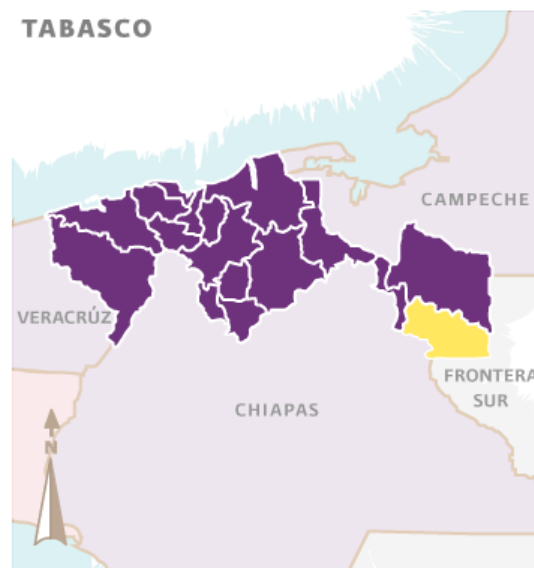


Figura 1.14 Ubicación geográfica del municipio de Tenosique.

La extensión territorial del municipio es de 1,883.19 km<sup>2</sup>, los cuales corresponden al 7.55% respecto al total del estado, que lo ubica en el 6° lugar en la escala de extensión municipal. Esto quiere decir que debido a su extensión territorial el municipio de Tenosique está creciendo en actividades turísticas y de comercio por lo que su población se encuentra en aumento.

Esta región tiene características climatológicas que se pueden aprovechar para la producción de energía eléctrica mediante la implementación de paneles solares. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, tiene una temperatura media anual de 30.5°C y la mínima absoluta se mueve entre los 28.4°C y 26.9°C. Este dato es de suma importancia ya que los paneles absorberían diariamente la radiación solar necesaria para almacenarla en bancos de baterías y posteriormente alimenta la antena retransmisora.

El régimen de precipitación se caracteriza por un total de caída de agua de 3,286 mililitros con un promedio máximo mensual de 400 mililitros en el mes de septiembre y un mínimo mensual de 50 mililitros en el mes de abril.

Las mayores velocidades del viento se registran en los meses de noviembre con velocidades que alcanzan los 30 Km/h.

Por las especificaciones y funcionamiento de la antena, ésta será ubicada a las afueras del municipio de Tenosique en la localidad de Emiliano Zapata, donde no se cuenta con servicio por parte de CFE, debido a que la infraestructura no llega para alimentar la antena.

A continuación, se muestra en La figura 1.15 la ubicación de la Antena Punto a Punto energizada por el sistema fotovoltaico en la comunidad de Emiliano Zapata, a la cual se le estará emitiendo la señal de internet inalámbrico. La distancia es de 30.6 Km entre el municipio de Tenosique y la localidad de Emiliano Zapata, donde se localizará la antena con ayuda de Google Maps.



Figura: 1.15 Distancia entre antenas

La comunidad de Emiliano Zapata cuenta con un total de 29,518 habitantes. De este total, se reporta estadísticamente que únicamente el 10% de las viviendas cuenta con servicio de internet, ya que actualmente por sus actividades tienen la necesidad de utilizar este servicio prácticamente todo el día y noche. La limitación de este poblado, es que además de la antena, requiere ser abastecida de Energía eléctrica para poder operarla, ya que CFE por sus zonas de abastecimiento no tiene la infraestructura necesaria para poblaciones remotas.



Figura: 1.16 Comunidad de Emiliano Zapata

En la figura 1.17 se observa cómo sería la transmisión de datos situado aproximadamente a 30 kilómetros de la base en Tenosique a el municipio de Emiliano Zapata. A través de esta imagen se aprecia el ejemplo de cómo se llevará a cabo la comunicación entre la antena emisora y la antena repetidora.



Figura: 1.17 Ejemplo de la transición de datos



## 2.2 Instalación de la Antena

Este sistema de Antena Punto a Punto energizada con un sistema fotovoltaico está pensado para ser propuesto al municipio como un proyecto de desarrollo y avance tecnológico. Tendríamos que disponer de un área de 3m x 3m situado de preferencia en una loma y que sea propiedad municipal para no incurrir en gastos de renta.

Para que el proyecto sea competitivo, elegimos materiales que, sin sacrificar la calidad, cumplen con las características necesarias para la aplicación y puede fácilmente entrar en los presupuestos del municipio. De estos equipos profundizaremos en el Capítulo IV Selección de Equipo.

Se deberá realizar una obra civil con cimentación para colocar un mástil de acero de 8m de longitud, donde en la punta se colocará un pararrayos para evitar cortos circuitos en las antenas o celdas.

Se instalará una Antena Punto a Punto para proveer internet libre a la comunidad de Emiliano Zapata.

La Antena elegida es una Rocket M5 de la Marca Ubiquiti que tiene hasta 80km de alcance en la repetición de la señal, puede enviar y recibir señales, es de uso exterior y tiene certificaciones que avalan su larga duración ante la corrosión del clima salino y húmedo que predomina en el municipio, junto con la antena vienen herrajes que sostienen el Radio, el cual es el responsable de emitir la señal de internet.

A cuatro metros de altura del mástil se instalará un ángulo de acero que sostendrá los paneles a 45°, se hace la conexión con cableado RG8 para la energización de la Antena y a nivel de piso se instalará un gabinete con certificado para exteriores Nema 4R que resiste las inclemencias del clima y almacenarán las celdas donde se acumulará la energía que provean los paneles.

Las ventajas de este tipo de instalación es que el mantenimiento es visual ya que la garantía de la antena es de por vida, del Radio y las baterías son de 4 años y el único riesgo de que no funcione es si existe algún daño o robo del sistema.

Se recomienda que el predio esté debidamente cerrado con malla para la protección del sistema.

En la figura 1.18 se aprecia una antena repetidora instalada, la cual es solamente representativa para fines de este proyecto, ya que la mayor parte de la superficie es plana. Se encuentran lomeríos que no sobrepasan una altura mayor de los 30 msnm, la mayoría localizados en los alrededores de la cabecera municipal.



Figura: 1.18 Imagen ilustrativa de la antena

## Capítulo III Estudio Climatológico

Se realizará un estudio climatológico de la zona. Esta información será de gran utilidad para poder obtener datos necesarios para realizar los cálculos adecuados para la selección del equipo y materiales a utilizar.

### 3.1 Estudio climatológico de Tenosique.

Este municipio presenta un clima tropical, cálido-húmedo, con abundantes lluvias en verano y otoño, por lo que se encuentra en las condiciones perfectas para el desarrollo

del proyecto, en la figura 1.19 se aprecia el ciclo del sol desde el amanecer hasta el atardecer en Tenosique, Tabasco, el cual estamos tomando en cuenta desde la salida del sol 6:26 AM hasta la puesta del sol que es 18:30, tiempo suficiente para la carga de baterías a través de las celdas solares.

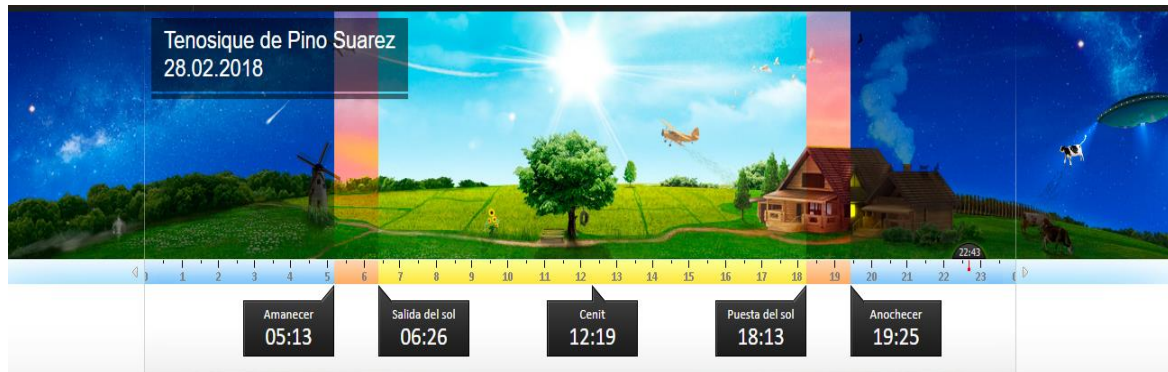


Figura: 1.19 Ciclo del sol en Tenosique

La duración de un determinado día del año en un determinado lugar se obtiene teniendo en cuenta que las posiciones de crepúsculo civil y el ocaso del Sol que son correspondientes y que la altura del Sol se anula en las mismas.

Considerando el triángulo de posición para el Sol en la posición del ocaso de cualquier día, teniendo en cuenta que son datos conocidos la altura del Sol ( $h=0$ ), la latitud del lugar y la declinación del Sol ese día, se puede obtener el ángulo horario del ocaso. Dicho de otra forma, el ángulo horario obtenido sería el tiempo, en unidades sidéreas, que invierte el Sol en ir desde la culminación superior hasta su ocaso. El doble del resultado anterior será la duración del día y sólo restaría pasar a tiempo medio.

Para ello en las tablas 1.20 y 1.21, se muestran los datos de los días, como son el cenit que es el punto donde el sol se encuentra en un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la tierra y la emisión de radiación solar es máxima, el cual sucede a las 13:02 horas y los horarios promedio de luz solar, la duración del promedio del día la cual llegan a ser de 12:54 horas, desde que sale el sol sale y la noche empieza,

Tabla: 1.20 Tiempo de radiación del sol

	Time	Duration
<b>Crepúsculo astronómico</b>	05:17 - 05:44	28 min
<b>Crepúsculo náutico</b>	05:44 - 06:11	27 min

<b>Crepúsculo civil</b>	06:11 - 06:34	23 min
Salida del sol	<b>06:34</b>	
<b>La hora mágica</b>	06:34 - 07:03	29 min
<b>Cenit</b>	13:02	
<b>La hora mágica</b>	19:00 - 19:29	29 min
Puesta de sol	<b>19:29</b>	
<b>Crepúsculo civil</b>	19:29 - 19:52	23 min
<b>Crepúsculo náutico</b>	19:52 - 20:19	27 min
<b>Crepúsculo astronómico</b>	20:19 - 20:47	28 min

Tabla: 1.21 Tiempo y ángulo de radiación del sol

<b>Día / noche - mayo 10, 2018</b>	
Día (el sol sobre el horizonte)	12 h 54 min
Crepúsculo y noche (el sol bajo el horizonte)	11 h 06 min
- de la cual noche astronómica	8 h 30 min
Luz natural - mayo	
La diferencia en los tiempos medidos entre el 1 y el 31 de mayo asciende a:	18 min *
- para la salida del sol más temprano:	8 min *
- para la puesta del sol más tarde:	10 min *
Posición del sol en el cielo - mayo 10, 2018, 19:11	
Posición	Día
Azimut	287° / Oeste
Elevación	6°

**Crepúsculo civil:** El Sol tiene una altura 6° por debajo del horizonte. Típicamente, es el intervalo habitual en que, con el Sol bajo el horizonte, en las ciudades no se requiere iluminación artificial.

**Crepúsculo náutico:** Con el Sol a -12° se pueden ver con cierta facilidad las estrellas náuticas de primera y segunda magnitud. Además, cuando el Sol está a 12° por

debajo del horizonte, es el límite aproximado de luz que permite ver la línea del horizonte marítimo.

**Salida y puesta del sol:** El centro geométrico del sol está en el horizonte en.

**Crepúsculo astronómico:** Primeros rayos del sol z comienzo de la noche - El cielo está lo suficientemente oscuro para ver la estrella distintiva. Si el sol alrededor del solsticio de verano no baja más de  $18^\circ$  por debajo del horizonte, por la noche el crepúsculo astronómico se fusiona con la mañana y la noche tan astronómicas no se produce.

En la figura 1.22 se puede ver la trayectoria del sol según transcurre el día, teniendo en cuenta que el cenit es el punto más alto el cual se encuentra a  $90$  grados respecto a la tierra y es el punto donde se puede captar más luz solar a través de los paneles solares.

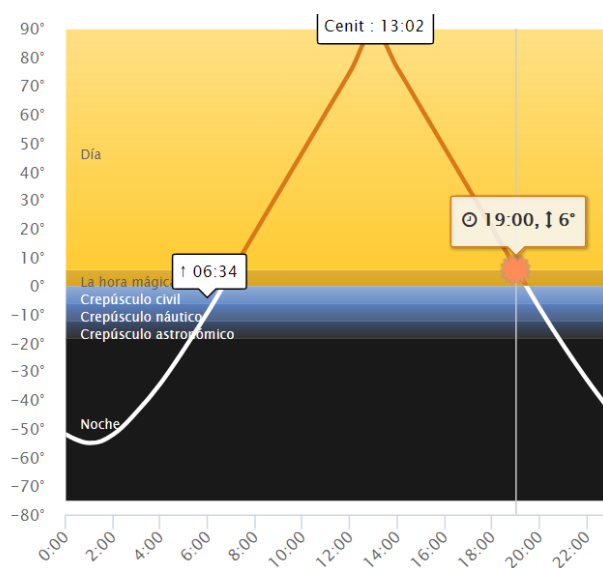


Figura: 1.22 Ángulos del sol de acuerdo a la hora del día

## Tabla con los horarios de la salida del sol y de la puesta de sol en 2018 - Tenosique De Pino Suárez

Día	Hoy		Horario de invierno		Horario de verano		En		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dec	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓		
1	06:35	17:44	06:36	18:02	06:22	18:13	06:58	19:20	06:37	19:27	06:29	19:38	06:33	19:45	06:44	19:39	06:50	19:19	06:55	18:55	06:03	17:34	06:19	17:30						
2	06:35	17:44	06:35	18:03	06:21	18:13	06:57	19:20	06:37	19:27	06:29	19:38	06:34	19:45	06:44	19:39	06:50	19:19	06:55	18:54	06:03	17:34	06:19	17:31						
3	06:35	17:45	06:35	18:03	06:20	18:14	06:56	19:20	06:36	19:28	06:29	19:38	06:34	19:45	06:44	19:38	06:51	19:18	06:55	18:53	06:04	17:34	06:20	17:31						
4	06:36	17:46	06:35	18:04	06:20	18:14	06:56	19:20	06:36	19:28	06:29	19:39	06:34	19:45	06:44	19:38	06:51	19:17	06:55	18:52	06:04	17:33	06:21	17:31						
5	06:36	17:46	06:35	18:04	06:19	18:14	06:55	19:21	06:35	19:28	06:29	19:39	06:35	19:45	06:45	19:38	06:51	19:16	06:55	18:51	06:05	17:33	06:21	17:31						
6	06:36	17:47	06:34	18:04	06:18	18:14	06:54	19:21	06:35	19:29	06:29	19:39	06:35	19:45	06:45	19:37	06:51	19:15	06:55	18:51	06:05	17:33	06:22	17:32						
7	06:36	17:47	06:34	18:05	06:17	18:15	06:53	19:21	06:35	19:29	06:29	19:40	06:35	19:45	06:45	19:36	06:51	19:15	06:56	18:50	06:06	17:32	06:22	17:32						
8	06:37	17:48	06:33	18:05	06:17	18:15	06:52	19:21	06:34	19:29	06:29	19:40	06:36	19:45	06:46	19:36	06:51	19:14	06:56	18:49	06:06	17:32	06:23	17:32						
9	06:37	17:49	06:33	18:06	06:16	18:15	06:52	19:21	06:34	19:29	06:29	19:40	06:36	19:45	06:46	19:35	06:51	19:13	06:56	18:48	06:07	17:32	06:24	17:32						
10	06:37	17:49	06:33	18:06	06:15	18:15	06:51	19:22	06:33	19:30	06:29	19:41	06:36	19:45	06:46	19:35	06:52	19:12	06:56	18:48	06:07	17:31	06:24	17:33						
11	06:37	17:50	06:32	18:07	06:14	18:16	06:50	19:22	06:33	19:30	06:29	19:41	06:37	19:45	06:46	19:34	06:52	19:11	06:57	18:47	06:08	17:31	06:25	17:33						
12	06:37	17:50	06:32	18:07	06:14	18:16	06:49	19:22	06:33	19:31	06:29	19:41	06:37	19:45	06:46	19:34	06:52	19:10	06:57	18:46	06:08	17:31	06:25	17:33						
13	06:37	17:51	06:31	18:08	06:13	18:16	06:49	19:22	06:32	19:31	06:29	19:42	06:37	19:45	06:47	19:33	06:52	19:10	06:57	18:45	06:09	17:31	06:26	17:34						
14	06:37	17:52	06:31	18:08	06:12	18:16	06:48	19:22	06:32	19:31	06:29	19:42	06:38	19:45	06:47	19:32	06:52	19:09	06:57	18:45	06:09	17:30	06:26	17:34						
15	06:38	17:52	06:30	18:08	06:11	18:16	06:47	19:23	06:32	19:32	06:30	19:42	06:38	19:44	06:47	19:32	06:52	19:08	06:57	18:44	06:10	17:30	06:27	17:35						
16	06:38	17:53	06:30	18:09	06:11	18:17	06:47	19:23	06:31	19:32	06:30	19:42	06:38	19:44	06:47	19:31	06:52	19:07	06:58	18:43	06:10	17:30	06:27	17:35						
17	06:38	17:54	06:29	18:09	06:10	18:17	06:46	19:23	06:31	19:32	06:30	19:43	06:39	19:44	06:48	19:31	06:52	19:06	06:58	18:43	06:11	17:30	06:28	17:36						
18	06:38	17:54	06:29	18:09	06:09	18:17	06:45	19:23	06:31	19:33	06:30	19:43	06:39	19:44	06:48	19:30	06:53	19:05	06:58	18:42	06:11	17:30	06:29	17:36						
19	06:38	17:55	06:28	18:10	06:08	18:17	06:45	19:24	06:30	19:33	06:30	19:43	06:39	19:44	06:48	19:29	06:53	19:05	06:59	18:41	06:12	17:30	06:29	17:36						
20	06:38	17:55	06:27	18:10	06:07	18:17	06:44	19:24	06:30	19:33	06:30	19:43	06:40	19:44	06:48	19:28	06:53	19:04	06:59	18:41	06:12	17:30	06:30	17:37						
21	06:38	17:56	06:27	18:11	06:07	18:18	06:43	19:24	06:30	19:34	06:31	19:44	06:40	19:43	06:48	19:28	06:53	19:03	06:59	18:40	06:13	17:30	06:30	17:37						
22	06:38	17:57	06:26	18:11	06:06	18:18	06:43	19:24	06:30	19:34	06:31	19:44	06:40	19:43	06:49	19:27	06:53	19:02	06:59	18:40	06:13	17:30	06:31	17:38						
23	06:37	17:57	06:26	18:11	06:05	18:18	06:42	19:25	06:30	19:34	06:31	19:44	06:41	19:43	06:49	19:26	06:53	19:01	07:00	18:39	06:14	17:30	06:31	17:39						
24	06:37	17:58	06:25	18:11	06:04	18:18	06:41	19:25	06:29	19:35	06:32	19:44	06:41	19:42	06:49	19:26	06:53	19:00	07:00	18:38	06:15	17:30	06:31	17:39						
25	06:37	17:58	06:24	18:12	06:03	18:18	06:41	19:25	06:29	19:35	06:32	19:44	06:41	19:42	06:49	19:25	06:54	18:59	07:00	18:38	06:15	17:30	06:32	17:40						
26	06:37	17:59	06:24	18:12	06:03	18:19	06:40	19:25	06:29	19:36	06:32	19:45	06:42	19:42	06:49	19:24	06:54	18:59	07:01	18:37	06:16	17:30	06:32	17:40						
27	06:37	17:59	06:23	18:12	06:02	18:19	06:40	19:26	06:29	19:36	06:32	19:45	06:42	19:41	06:50	19:23	06:54	18:58	07:01	18:37	06:16	17:30	06:33	17:41						
28	06:37	18:00	06:22	18:13	06:01	18:19	06:39	19:26	06:29	19:36	06:33	19:45	06:42	19:41	06:50	19:23	06:54	18:57	06:02	17:36	06:17	17:30	06:33	17:41						
29	06:37	18:00			06:00	18:19	06:39	19:26	06:29	19:37	06:33	19:45	06:43	19:41	06:50	19:22	06:54	18:56	06:02	17:36	06:18	17:30	06:34	17:42						
30	06:36	18:01			05:59	18:19	06:38	19:27	06:29	19:37	06:33	19:45	06:43	19:40	06:50	19:21	06:54	18:55	06:02	17:35	06:18	17:30	06:34	17:42						
31	06:36	18:01			05:59	18:20			06:29	19:37	06:33	19:45	06:43	19:40	06:50	19:20	06:54	18:55	06:03	17:35			06:34	17:43						

Tabla: 1.23 Horas de sol por día en el año 2018

En la tabla 1.23, se puede observar un muestreo de la cantidad de horas de luz solar que se presentan en el estado de tabasco durante la primera mitad del mes de marzo de 2018.

Gráfico con los horarios de la salida del sol y de la puesta de sol en Tenosique De Pino Suárez

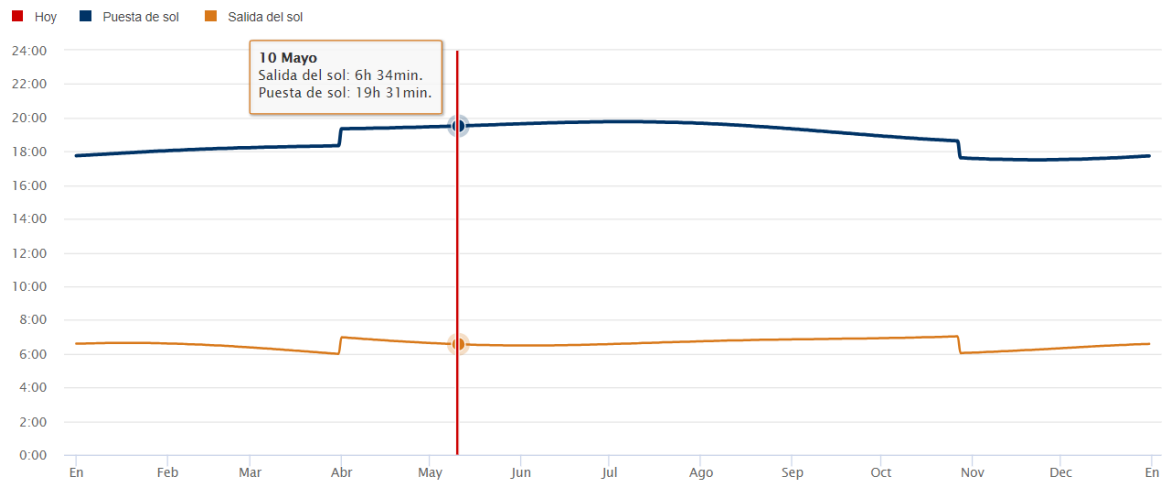


Figura: 1.24 Grafica de los horarios del día y la noche en Tenosique

([https://sunrisesunset.info/salida-puesta-sol\\_marzo 2018](https://sunrisesunset.info/salida-puesta-sol_marzo_2018))

### 3.2 Cálculo de equipo:

Con el fin de poder abastecer de energía eléctrica a la antena repetidora esta debe contar con una alimentación constante, la cual será obtenida a través de un arreglo de paneles solares, baterías, un inversor y un regulador, en un ciclo constante de carga y descarga.

Para poder comenzar a seleccionar el equipo se debe introducir un concepto fundamental, el de las “horas de Sol pico” o HPS [horas]. Lo podemos definir como el número de horas en que disponemos de una irradiancia solar de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Es decir, una hora solar pico equivale a un  $\text{kWh/m}^2$ . Dicho de otras palabras es un modo de contabilizar la energía recibida del Sol agrupándola en paquetes, siendo cada paquete de 1 hora recibiendo  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Dicho esto, hay que tomar en cuenta algo importante:

- Irradiancia. Es la magnitud que describe la radiación o la intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie,  $\text{W/m}^2$  o unidades equivalentes.
- Irradiación. Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie, se suele medir en  $\text{Wh/m}^2$ , o  $\text{W/m}^2/\text{día}$  para el caso de medición por día.

Entonces para calcular el valor de HPS de debe dividir el valor de la irradiación entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC), pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de las celdas fotovoltaicas. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de  $1000 \text{ watts/m}^2$ . Es decir, si se obtiene datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000 se obtienen las HSP.

Los pasos a seguir para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo son:

1. Estimación del consumo.  
Podemos obtener los datos directamente del cliente, de datos de placa del equipo a suministrar energía y deberá ser lo más realista posible.
2. Datos del lugar donde se realizará la instalación para saber la irradiación con la que se dispondrá.
3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).
4. Dimensionamiento del sistema de acumulación (número de baterías).



Para esta parte es necesario tomar en cuenta los días de autonomía que se otorgarán a la instalación.

5. Dimensionamiento del regulador.
6. Dimensionamiento del inversor.

Definidos los pasos a seguir, se realizó la tabla 1.25 la cual indica el consumo de carga del sistema, dando un total de 192 KWh/día

Tabla 1.25. Consumo eléctrico diario del módulo.

Cantidad	Equipo	Horas de uso (h)	Potencia (W)	Consumo (kWh/día)
1	Antena repetidora	24	8	192
Consumo Diario Total (kWh/día)			8	192

Una vez que se tiene el consumo de la antena, se realizara el cálculo para un mes, teniendo en cuenta los días de utilización con la siguiente formula;

$$Ea = E * 365$$

Donde:

$Ea$ : Energía anual que demanda la carga ( $\frac{kWh}{año}$ )

$E$ : consumo diario total ( $\frac{kWh}{día}$ )

Sustituyendo valores tenemos:

$$Ea = 192 * 365 = 70,080 \frac{kWh}{año}$$

Es importante evaluar el recurso solar para el diseño del sistema fotovoltaico, ya que la generación dependerá de cuanta irradiación se tenga en la zona del Municipio de Tenosique, sitio donde está instalado nuestro SFA. Para obtener estos datos, con las coordenadas de ubicación se encuentra entre los paralelos 17°28.5' de latitud norte y los 91°25.6' de longitud oeste. Estos datos se obtuvieron en la página del Centro de Datos de Ciencia Atmosférica de la NASA, los cuales se muestran en la tabla 3.4.

En el siguiente paso se determinó la inclinación y orientación de la superficie receptora donde se ubican los módulos fotovoltaicos. Los módulos estarán orientados hacia el sur para que durante el día capte la mayor cantidad de radiación posible. En la tabla 1.26, se pueden observar los datos de radiación solar a diferentes inclinaciones, en

donde se eligió la inclinación a 35° ya que es el ángulo óptimo.

Tabla 1.26. Tabla de datos de radiacion solar mensual incidente sobre una superficie.

Radiacion promedio mensual incidente en una superficie horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /dia)													
Lat 17.469 Lon -91.431	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
Promedio anual	4.11	4.84	5.72	6.2	6.1	5.82	6.06	5.98	5.27	4.68	4.3	3.86	5.25

Para calcular la potencia del generador se utilizamos el valor minimo mensual para asegurar que hasta en el mes mas critico, el sistema soportara adecuadamente la carga. De la tabla 3.3 el nivel menor de irradiacion es en el mes de diciembre con 3.86 kWh/dia. Consideramos el rendimiento del sistema en 0.9

$$Pfv = \frac{192}{0.9 * 3.86} = 55.26 \text{ kW}$$

La potencia de este sistema es de 55.26 kW. Para el diseño del SFA se eligio un panel policristalino de 85 W, para calcular el numero de paneles necesarios para alimentar el sistema tenemos:

$$Nt = \frac{55.26}{85} = 0.67 = 1 \text{ panel}$$

El numero se redondeo al entero superior para cubrir la potencia total del sistema, al ser este sistema autonomo aislado de la red electrica de CFE.

Pasamos a la selección de las baterias, debemos tomar en cuenta dos parametros importantes para el dimensionamiento, como son la maxima profundidad de descarga y el numero de dias de autonomia.

Profundidad de descarga estacional: Pe= 80% (0.8)

Profundidad de descarga maxima diaria Pmax= 15% (.15)

Dias de autonomia: 2

Entonces calculamos la capacidad nominal para las baterias en funcion de la profundidad de descarga estacional y diaria. La mayor de ellas sera la que seleccionemos, pues de lo contrario podriamos incurrir en una isuficiencia estacional o diaria.

La capacidad de la bateria en funcion de la descarga maxima diaria:

$$C_e = \frac{192}{0.15 * 1} = 1280 \text{ Wh}$$

$$C_e = \frac{1280}{24} = 53.33 \text{ Ah}$$

Con estos calculos encontramos energia que deseamos generar pero permitiendo solamente un 15% de descarga maxima diaria y suponiendo un factor de correccion de temperatura igual a 1. Ya que obtuvimos la energia de la bateria en Wh, simplemente dividimos entre la tension de la misma y tenemos la capacidad minima que necesitamos para nuestro sistema de acumulacion en funcion de la descarga maxima diaria.

Ahora bien calculemos la capacidad nominal en funcion de la descarga maxima estacional.

$$C_n = \frac{192 * 2}{0.8 * 1} = 480 \text{ Wh}$$

$$C_n = \frac{480}{24} = 20 \text{ Ah}$$

Asi conseguimos generar la energia diaria con nuestras baterias para que podamos disponer de ellas durante 2 dias sin Sol o algun incidente, sin permitir una descarga mayor del 70%, suponiendo de igual manera un factor de correccion de temperatura igual a 1.

De esta manera escogemos la mayor , es decir la capacidad nominal de las baterias como minimo  $C_n = 20\text{Ah}$ .

Cálculo del regulador solar:

Para la selección del regulador de carga, debemos tomar en cuenta que este va a conformar nuestra red de CA y al mismo tiempo regula la tension y la frecuencia a hacia la carga. Ademas ayuda a regular la energia producida en caso de tener un exceso de energia o en caso contrario, cuando la irradiacion es poca y no esta generando la energia suficiente, alimenta la carga con las baterias.

Dividimos la potencia total del panel solar por la tensión de la batería para conocer la corriente máxima de carga  
 $(P_{tot} / V_{bat} = I_{m\acute{a}x})$

Nuestro sistema solar con baterías de 12V y 1 panel solar de 85W

Potencia total instalada:  $1 \times 85\text{W} = 85\text{Wp}$

$85\text{Wp} / 12\text{V} = 7.08\text{A}$ .

Por lo que es necesario un regulador solar de 7 amperes.

## Capítulo IV Selección de equipo.

### 4.1 Caracterización de la antena Rocket M5 Ubiquiti

Antena Rocket M5, se eligió debido al bajo consumo de energía y por su alto performance, cumple con las características que requerimos para nuestro proyecto inalámbrico punto a punto, las cuales podemos

Físicamente es una antena compacta y estética como se aprecia en la figura 4.1.



Figura 1.28 Imagen de antena Rocket M5 Ubiquiti

#### 4.1.1 Especificaciones Técnicas:

En la tabla 1.28 se pueden apreciar todas las especificaciones técnicas que posee la antena repetidora Rocket M5

Dimensiones	160x80x44 mm (6.30x3.15x1.73")
Peso	350g (12.35 oz.)
Características de recubrimiento	Aluminio fundido a presión
Procesador	MIPS 74kc
Memoria	128 SDRAM, 8MB Flash
Interfaces de red	(1) 10/100/1000 Mbps 10/100 Mbps
Conexiones RF	(2) RP-SMA (Impermeable), 1 SMA (GPS)
LEDs	(3) Encendido, 2 (Ethernet), 6 Intensidad de señal, GPS
Consumo máximo de energía	(4) 8W
Suministro de energía	(5) 48 V, 0.5 A Adaptador PoE
Método de suministro de energía	Pasivo PoE (Pares 4,5+;7,8 Regreso) (6) 802.3af pasivo
Protección ESD/EMP	± 30 KV aire/contacto
Temperatura de operación	-30 a 75° C (-22 a 167° F)

Humedad de operación	5 a 95% sin condensación
Vibración	ETS1300-019-1.4

Tabla 1.29 Especificaciones de software del Rocket M5:

Modos	Punto de acceso, estación
Servicios	Servidor web, SNMP, SSH, servidor, telnet, ping watchdog, DHCP, NAT, bringing, enrutamiento
Utilidad	Herramienta de alineación de antena, utilidad de descubrimiento, encuesta de sitio, ping, trace route, prueba de velocidad
Ajustes de distancia	ACK dinámico y modo akless
Ajustes de energía	Software UI o CLI configurable
Seguridad	Solo WPA2 AES
QoS	Admite la clasificación de nivel de paquete WMM y el nivel de usuario del usuario, alto/medio/bajo
Informes estadísticos	Tiempo de actividad, errores de paquete, velocidades de datos, distancia inalámbrica, velocidad de enlace de Ethernet
Otros	soporte de reinicio remoto, habilitación / deshabilitación del software, soporte de VLAN, 64QAM
Detalles destacados Ubuquiti	Soporte de ancho de canal de 5/8/10/20/30/40 MHz modo airmax, configuración del tráfico y soporte de ráfagas, protocolo de descubrimiento, desplazamiento de banda de frecuencia, modo akless

Se propone para este enlace de 30 kilómetros una antena Direccional tipo plato Rocket Dish.

- Tipo: Parabólica.
- Rango de Frecuencia: 4,9-5,9 GHz.
- Ganancia: 30 dBi.
- Polarización: Vertical/ Horizontal simultaneo
- En la figura 2.5 apreciamos el tipo de antena:



Figura 1.30 Antena Rocket Dish

USO DE Rocket Dish M5 por distancias:

Punto A (Dish de 30 dBi) / Punto B (Dish de 30 dBi).....hasta 30 Km.

Punto A (Dish de 34 dBi) / Punto B (Dish de 30 dBi).....hasta 38 Km.

Punto A (Dish de 34 dBi) / Punto B (Dish de 34 dBi).....hasta 45 Km.

Para el enlace de la antena repetidora necesitamos lo siguiente:

Tabla 1.31 Valores ideales de alimentación del equipo

Salida PoE: 24Vcd (.8 A máx.)
Autonomía: 48 Horas.
Capacidad de alimentación máxima: 8.5W

Tabla 1.32 Materia para instalación de antena

CANTIDAD	MODELO	DESCRIPCIÓN
1	PRO8512	Módulo fotovoltaico 85W 12VCD
1	LS1024B	Controlador de carga de 12 VCD – 10A.
1	TP1224G	Convertidor cd con PoE pasivo de 12VCD – 24VCD - 0.8A.
1	PL110D12	Batería aplicación solar AGM 12VCD 110Ah
1	SSPBLV5	Montaje panel solar para 2 módulo prose-8512 en poste y 1 módulo prose-8512 en torre.
2		Rocket Dish.
2	M5	Antena Rocket M5
1		Gabinete Metálico De Seguridad Para 2 Baterías Y/o Equipo

En la figura 1.33 se puede observar el diagrama de la instalación de la antena sujeta a un poste.

### Diagrama de Conexión e Instalación en Poste

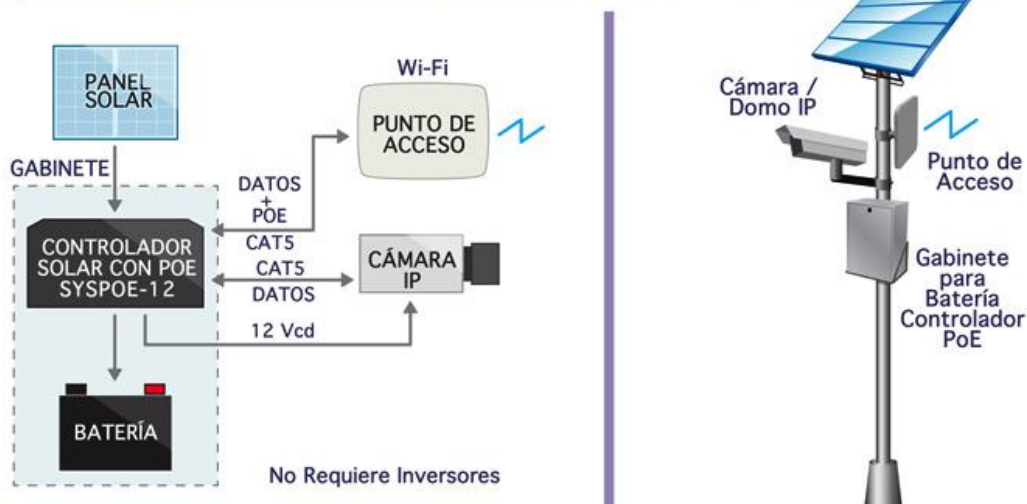


Figura 1.34 Diagrama de conexión de antena.

## 4.2 Selección de celdas fotovoltaicas

Los módulos Fotovoltaicos:

Serán los encargados de la generación eléctrica. Pueden ser de varios tipos, entre ellos, los más utilizados para este tipo de instalación son los paneles con tecnología monocristalina y policristalina.

Para nuestro proyecto proponemos el Módulo Fotovoltaico Policristalino, debido a que estas necesitarán generar 85 Watts para sistemas a 12 Volts

Celdas de Alta Calidad

Encapsuladas en EVA transparente y vidrio templado de 4 mm. La parte posterior del módulo está protegida con una hoja de TEDLAR resistente a los rayos UV. Los laminados están montados en un marco de aluminio anodizado, asegurando una máxima protección.



Figura: 1.35 Panel solar policristalino

Se selecciono un modoluo fotovoltaico policristalino de 85 W a 12 V, marca EPCOM POWER LINE; Modelo: PRO8512, en la tabla 1.36 se detallan las especificaciones tecnicas.

Tabla 1.36 Especificaciones Técnicas de panel solar.

Potencia maxima	85 watts
Voltaje	18 V
Amperaje	4.86 A
Voltaje a circuito abierto (Voc)	22.1 V
Corriente a corto circuito (Isc)	5.08 A
Dimensiones	850x660x30 mm
Peso	10 kg
Temperatura ambiente	-40 a 80 °C
Voltaje maximo del sistema	600 v



### 4.3 Selección de baterías

Estas se encargarán de acumular la energía eléctrica generada por el sistema de generación fotovoltaico para poder disponer de ella en las horas del día que no luzca el sol.

Para definir el tamaño necesario de las baterías es necesario tener en cuenta un par de parámetros: Profundidad de descarga máxima, qué es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma.

Los datos de la batería Propuesta PL110D12 estan en la tabla 1.37 de especificaciones técnicas de la batería.

<b>Capacidad en Ah</b>	<b>110 Ah (10 hrs)</b>
<b>Voltaje (Vcd)</b>	12VCD
<b>tipo</b>	AGM VRLA
<b>Ancho</b>	330 mm
<b>altura</b>	227 mm
<b>Profundidad</b>	171 mm
<b>Tipo de Terminal</b>	T12 (15 M6)
<b>Peso</b>	33.8 kg

Tabla 1.37 de especificaciones técnicas de la batería.



Figura: 1.38 Batería de súper alto rendimiento

#### 4.4 Selección del controlador de carga

Regulador: Se encarga de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas. De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre paneles y batería para el proceso de carga y abierto cuando la batería está totalmente cargada.

Las intensidades máximas de entrada y salida del regulador adecuado para cada aplicación dependerán de la corriente de máxima que pueda producir el sistema de generación fotovoltaico para la entrada y la corriente máxima de las cargas para la salida. Para tener en cuenta los posibles picos de irradiación o los cambios de temperatura, es recomendable que, a la hora de escoger el regulador, sea aquel con un 15-25% superior a la corriente de cortocircuito que le puede llegar del sistema de generación fotovoltaico ( $I$  de entrada) o bien, de la que puede consumir la carga del sistema ( $I$  de salida).

La elección del regulador solar será aquel que soporte la mayor de las dos corrientes calculadas.

Controlador Solar de Carga y Descarga, 12/24V 10A. Este controlador permite mantener las baterías en un estado óptimo de carga evitando que estas lleguen a la descarga completa.

- Sobrecarga
- Sobrecalentamiento

Controlador Solar de Carga y Descarga, 12/24V 10<sup>a</sup>



Figura: 1.39 Controlador solar de carga y descarga

En la Tabla 1.40 se muestran las especificaciones técnicas de regulador.

Modelo	LS2024B
Configuraciones de voltaje	12V/24V con detección automática
Corriente	20 A
Voltaje máximo	50 V
Toma de tierra	Común
Autoconsumo	8.4mA(12V), 7.8mA(24V)
Temperatura	-3mV/°C/2V (25°C ref)
Dimensiones	159.6x81.4x47.8mm
Terminal	10 mm <sup>2</sup>
Peso	0.3 kg
Envoltorio	IP30

También cuenta con lo siguiente:

- Cargador PWM de alta eficiencia con compensación de temperatura.
- 3 LEDs muestran el estatus de Modulo Solar, batería y carga.
- Interface para sensor de temperatura externa.
- Bus de Comunicación RS-485.
- Protocolo de comunicación abierto Modbus .
- Funciones de actualización por software vía display remoto MT50 o PC.
- Controles diversos de control de carga: Manual, Light ON/OFF, Light ON+ Timer,

Protecciones Electrónicas :

- Corto circuito en arreglo PV.
- Polaridad inversa en arreglo PV.
- Sobre carga de Baterías.
- Sobre descarga de Baterías.
- Polaridad Inversa de Baterías.
- Corto circuito en carga.
- Sobrecarga.
- Sobre calentamiento.

Dentro del ensamble se deben utilizar los materiales que garanticen un buen funcionamiento de los dispositivos por lo que se implementaran los siguientes criterios para mantener la seguridad del equipo y operatividad del mismo.

La sección de un cable consiste en calcular la sección mínima normalizada que satisface simultáneamente las tres condiciones siguientes:

- Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento.

La temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no deberá superar en ningún momento la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 70°C para cables con aislamiento termoplásticos y de 90°C para cables con aislamientos termoestables.

- Criterio de la caída de tensión.

La circulación de corriente a través de los conductores, ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencia entre las tensiones en el origen y extremo de la canalización. Esta caída de tensión debe ser inferior a los límites marcados por el Reglamento en cada parte de la instalación, con el objeto de garantizar el funcionamiento de los receptores alimentados por el cable. Este criterio suele ser el determinante cuando las líneas son de larga longitud por ejemplo en derivaciones individuales que alimenten a los últimos pisos en un edificio de cierta altura.

- Criterio de la intensidad de cortocircuito.

La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 160°C para cables con aislamiento termoplásticos y de 250°C para cables con aislamientos termoestables.

Este criterio, aunque es determinante en instalaciones de alta y media tensión, no lo es en instalaciones de baja tensión ya que por una parte las protecciones de sobreintensidad limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves, y además las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito.

Para proteger todo el equipo de las inclemencias del clima como de los animales como las aves e insectos este se resguardará en un gabinete metálico,

### Gabinete Metálico de Seguridad para Baterías:

La figura 4.7 tiene el gabinete de seguridad el cual tiene las siguientes características físicas:

- Aplicación: Exterior.
- Material: Lámina de Acero de primera calidad.
- Peso: 22.32 Kg
- Dimensiones exteriores: 553 X 682 X 348 mm (Ancho x Alto x Profundidad).



Figura 1.41 Gabinete de seguridad

#### 4.5 Costo del proyecto

Teniendo en cuenta los precios actuales en el mercado, buscando precios con diferentes proveedores y de acuerdo a la selección de los materiales calculados se seleccionaron los siguientes equipos los cuales se ven reflejados en la tabla 1.42

Tabla 1.42 Materiales seleccionados para la realización del proyecto, precio expresado en moneda nacional.

<b>Costos unitarios de los equipos</b>				
<b>CANTIDAD</b>	<b>MODELO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Precio Unitario MXN</b>	<b>Total, MXN</b>
1	PRO8512	Módulo fotovoltaico 85W 12VCD	\$ 1,814.00	\$ 1,814.00
1	LS1024B	Controlador de carga de 12 VCD – 10A.	\$ 2,374.00	\$ 2,374.00
1	TP1224G	Convertidor cd con PoE pasivo de 12VCD – 24VCD - 0.8A.	\$ 1,519.00	\$ 1,519.00
2	PL110D12	Batería aplicación solar AGM 12VCD 110Ah	\$ 6,679.00	\$ 13,358.00
1	SSPBLV5	Montaje panel solar para 2 módulo prose-8512 en poste y 1 módulo prose-8512 en torre.	\$ 1,259.00	\$ 1,259.00
2		Rocket Dish.	\$ 3,699.00	\$ 7,398.00
2	M5	Antena Rocket M5	\$ 2,299.00	\$ 4,598.00
1		Gabinete Metálico De Seguridad Para 2 Baterías Y/o Equipo	\$ 3,385.00	\$ 3,385.00
1		Mano de obra (incluye puesta en marcha, accesorios para instalación y viáticos)	\$ 25,000	\$ 25,000
			Subtotal	\$ 54,426.00
			IVA	\$ 8,708.16
			<b>Total, MXN</b>	<b>\$ 63,134.16</b>

## vi.- Conclusión.

Dadas las características climatológicas del lugar, y con los cálculos obtenidos, se seleccionaron los equipos que más se adecuan a las necesidades de este proyecto, el cual contribuirá y mejorará la calidad de vida de los habitantes de la localidad Emiliano Zapata a 30 kilómetros de Tenosique en el Estado de Tabasco, energizado por medio de la energía del sol, gracias a esta fuente de energía limpia que no contamina que además es gratuita y que debería aprovecharse de manera más continua para infinidad de proyectos y en un futuro no muy lejano todos contar con más sistemas energizados por la energía solar.

Con la implementación de este proyecto se permitirá que cada vez más personas puedan tener acceso a estas tecnologías, las cuales se están volviendo indispensables en el uso cotidiano, para permanecer comunicado hasta buscar información vital, para el bienestar de toda una comunidad.

## vii.- Bibliografía:

**Fuente:** Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables

<http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>

<https://solar-energia.net/>

**Fecha de recuperación:** 10 febrero 2018

### 1.2 Localización de la antena:

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM27tabasco/municipios/27017a.html>

**Fecha de recuperación:** 26 febrero 2018

### 2.3 Caracterización de la Antena Rocket M5 Ubiquiti:

**Fuente** [documentation.ubnt.com/airmax](http://documentation.ubnt.com/airmax)

**Fecha de recuperación:** 1 marzo 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/PL-1224G-1R-EPCOM-POWER-LINE-87829.html>

**Fecha de recuperación:** 1 marzo 2018

**Fuente:** <https://www.syscom.mx/producto/GT-002-EPCOM-INDUSTRIAL-74843.html>

**Fecha de recuperación:** 1 marzo 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/SYSPOE1224-Syscom-65438.html>

**Fecha de recuperación:** 12 marzo 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/TXG-5070-TXPRO-66602.html>

**Fecha de recuperación:** 14 marzo 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/PRO8512-EPCOM-POWER-LINE-93453.html>

**Fecha de recuperación:** 14 marzo 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/PL110D12-EPCOM-POWER-LINE-71055.html>

**Fecha de recuperación:** 6 abril 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/LS1024B-EPSOLAR-78223.html>

**Fecha de recuperación:** 9 abril 2018

<https://erenovable.com/energia-solar-ventajas-y-desventajas/>

### 4.11 Especificaciones Técnicas:

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/PL-1224G-1R-EPCOM-POWER-LINE-87829.html>

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/TXG-5070-TXPRO-66602.html>

**Fecha de recuperación:** 27 abril 2018

**Fuente Syscom:** <https://www.syscom.mx/producto/PL110D12-EPCOM-POWER-LINE-71055.html>

**Fecha de recuperación:** 6 mayo 2018



