



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

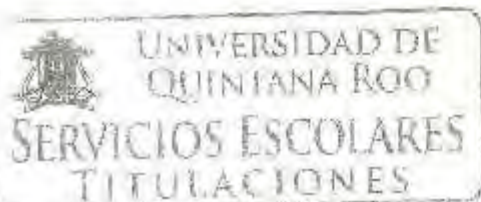
**Estimación teórica de la energía eléctrica suministrada por  
el sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica de  
2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo**

---

**TRABAJO MONOGRÁFICO**  
Para obtener el grado de  
**Ingeniero en sistemas de energía**

**PRESENTA**  
**César Córdova Quintero**

**SUPERVISORES**  
**Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta**  
**Dr. Gliserio Romeli Barbosa Pool**  
**Dr. José Hernández Rodríguez**



Chetumal Quintana Roo, México, Marzo de 2016



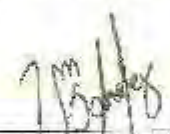
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo Monográfico elaborado bajo la supervisión del Comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:


INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

Comité de supervisión:


Asesor:

  
Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta

Asesor:

  
Dr. Gliseric Romeli Barbosa Pool

Asesor:

  
Dr. José Hernández Rodríguez



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
SERVICIOS ESCOLARES  
TITULACIONES

Chetumal Quintana Roo, México, Marzo de 2016

# DEDICATORIA

A toda mi familia: en especial para mi hija que ha sido mi razón y mi motivación de salir adelante.

Mi hija: Esbeydy Dayana Córdova Ruiz

A mi novia: Zulema Anabel Uicab González

Mis padres: Celia Quintero Velázquez y Francisco Córdova

Mi sobrina: Hania Ximena Cornelio Cordova

Mis hermanas: Noemí Córdova Quintero y Elizabeth Córdova Quintero

# AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi carrera, mis padres y hermanas por el apoyo económico para ayudarme a cumplir este sueño. A mis profesores por todo lo aprendido gracias a ellos, en especial al Doctor Inocente Bojórquez por creer en mi y apoyarme durante el tiempo que fue mi tutor y al Maestro Roberto Acosta Olea por ser mi tutor una parte de mi carrera y que fue el impulsor de esta monografía, ya que me permitió trabajar en el proyecto que él coordinó.

A los doctores Víctor M. Sánchez Huerta, José Hernández Rofríguez y Romeli Barbosa Pool por ser mis asesores en la elaboración de esta monografía, les agradezco sus comentarios y observaciones.

Se agradece el apoyo financiero otorgado por la División de ciencias e ingeniería de la Universidad de Quintana Roo, a través de los fondos de PIFI y de Profocie 2014 para la realización de este proyecto, el cual fue registrado en el rubro ***“Apoyo a proyectos internos de investigación de la División de ciencias e ingeniería bajo el proyecto UQROO/DCI/PI/03/15”***.

A mis amigos y compañeros de clase por esos desvelos juntos estudiando y por esos buenos momentos vividos durante la carrera: Aracely Crisostomo, Jorge Elias, Miguel Campos, Digna Vazquez, Miguel Santiago, Noe Merlin, Alejandro Dominguez, Felix Crisostomo, Erick Vivas, Kennet Cruz, Jose Luis Gordillo, entre otros.

A mi amigo el Arquitecto Geovani Herrera Gonzalez por su apoyo moral y económico cuando mi familia y yo estuvimos en crisis económica y me apoyo cuando más lo necesite.

## RESUMEN

En esta monografía se realizó el cálculo teórico de la energía eléctrica que puede ser suministrada por el sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica (SFVI) ubicado en la Universidad de Quintana Roo con una potencia pico de 2.5 kW, así como un análisis socioeconómico sobre la implementación del SFVI en dos casos prácticos reales: un caso con tarifa tipo 1C y el otro con la tarifa tipo DAC (doméstica de alto consumo).

Para esto se hizo una recopilación general acerca de los SFVI sobre su uso, ventajas y desventajas, se describe en términos generales el SFVI de 2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo, en donde se da una descripción de cada uno de los componentes que conforman el SFVI, asimismo se proporciona una explicación de las tarifas DAC y la 1C.

Los principales resultados que se obtuvieron fueron muy positivos para ambos casos, para el caso de la tarifa 1C se reduce prácticamente el 100% el costo de la energía con un tiempo de recuperación de aproximadamente 7 años y una inversión de \$130, 000 aproximadamente, para el caso de la tarifa DAC se reduce entre un 70 y 75% el costo de la energía y un tiempo de recuperación de aproximadamente 6.5 años con el mismo sistema. Lo anterior demuestra que los SFVI son un opción viable en México técnica y económicamente.

Este trabajo monográfico se realizó bajo el proyecto de investigación **“Diseño y puesta en operación del sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica 2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo”** con registro en el rubro *“Apoyo a proyectos internos de investigación de la División de ciencias e ingeniería bajo el proyecto UQROO/DCI/PI/03/15”*.

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.- Mapa de radiación global media diaria en México.	8
Figura 2.- Horas de sol pico por día para la República Mexicana.	9
Figura 3.- Esquema de la estructura básica de un módulo fotovoltaico.	10
Figura 4.- Fotografía de módulos fotovoltaicos.	11
Figura 5.- Tipos de módulos fotovoltaicos.	11
Figura 6. Gráfica de la eficiencia eléctrica de un módulo fotovoltaico.	13
Figura. 7.- Conexión en serie de módulos fotovoltaicos.	16
Figura. 8.- Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos.	17
Figura. 9.- Diagrama básico de un SFVI.	18
Figura. 10.- Componentes de un SFVI.	19
Figura. 11 Medidor bidireccional.	20
Figura 12.- Fotografía de la ubicación física del SFVI.	22
Figura 13.- Fotografía del SFVI de la UQROO.	23
Figura 13a.- Fotografía de la vista lateral izquierda del SFVI de la UQROO.	24
Figura 13b.- Vista lateral derecha del SFVI de la UQROO.	24
Figura 13c.- Inversor del SFVI de la UQROO.	25
Figura 13d.- Conexión del inversor del SFVI de la UQROO.	26
Figura 14.- Módulo fotovoltaico S60PC.	27
Figura 15.- Gráfica de curva característica corriente contra voltaje.	28
Figura 16.- Imagen de las dimensiones del módulo fotovoltaico.	29
Figura 17.- Imagen de las dimensiones del marco de aluminio.	29
Figura 18.- Inversor Fronius IG plus 5.0.	30
Tabla 1. Datos de un módulo fotovoltaico.	14
Tabla 2.- Coeficientes de temperatura.	15

Tabla 3.- Especificaciones del módulo fotovoltaico s60pc.	27
Tabla 4.- Datos técnicos de diferentes modelos de inversores Fronius.	31, 32, 33, 34
Tabla 5.- Costo de la energía en el periodo fuera de verano.	36
Tabla 6.- Costo de la energía en el periodo de verano.	36
Tabla 7.- Costo de la energía en tarifa DAC.	37
Tabla 8.- Energía teórica suministrada por el SFVI por mes.	37
Tabla 9.- Energía teórica suministrada por el SFVI.	37
Tabla 10.- Facturación de un usuario tipo doméstico en temporada de verano.	38
Tabla 11.- Facturación de un usuario tipo doméstico en temporada fuera de verano.	38, 39
Tabla 12.- Facturación del usuario doméstico con la implementación del SFVI.	39
Tabla 13.- tiempo estimado de recuperación de la inversión en el sistema.	39, 40
Tabla 14.- usuario con facturación tipo DAC.	40
Tabla 15.- facturación con tarifa 1C en el periodo fuera de verano del usuario DAC.	40
Tabla 16.- facturación con tarifa 1C en el periodo de verano del usuario DAC.	41
Tabla 17.- tiempo estimado de recuperación de la inversión.	41

# INDICE

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO.	8
1.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	10
1.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	10
1.4.1 CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO	12
1.4.2 INFORMACIÓN A CONSIDERAR DE MODULOS FOTOVOLTAICOS.	14
1.4.3 CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	15
1.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED (SFVI)	18

## **CAPITULO 2. SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED DE LA UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO (UQROO).**

2.1 Ubicación	22
2.2. Componentes	26
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.	26
2.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR.	30
2.2.3 MEDIDOR BIDIRECCIONAL	34
2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES Y PROTECCIONES.	34

## **CAPITULO 3. CALCULO DE LA ENERGIA SUMINISTRADA POR EL SFVI, AHORRO ECONOMICO, ESTIMADO DE INVERSION Y TIEMPO APROXIMADO DE RECUPERACION.**

3.1 TARIFA 1C DE LA CFE 2016.	35
-------------------------------	----



3.2 TARIFA DAC.	36
3.3 CALCULO TEÓRICO DE LA ENERGÍA QUE PUEDE ENTREGAR EL SISTEMA.	37
3.4 CASO 1. USUARIO DE USO DOMÉSTICO.	38
3.5 CASO 2. USUARIO DAC	40
3.6 RECOMENDACIONES EL APROVECHAMIENTO EL LA UNIVERSIDAD DE QUINTANNARRO	43
<b>CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	43
<b>Referencias</b>	44

# CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

La energía solar es la energía producida por el Sol y que es convertida a energía útil por el ser humano, ya sea para calentar algo o producir electricidad como sus principales aplicaciones. Cada año el Sol arroja cuatro mil veces más energía que la que consumimos, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado (Sarmiento, 2007). La intensidad de energía disponible en un punto determinado de la tierra depende, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Esta energía renovable se usa principalmente para dos tareas, aunque no son las únicas, primero para calentar cosas como comida o agua, conocida como energía solar térmica, y la segunda para generar electricidad, conocida como energía solar fotovoltaica.

Los principales aparatos que se usan en la energía solar térmica son los calentadores de agua y las estufas solares.

Para generar la electricidad se usan las celdas solares, las cuales son el alma de lo que se conoce como módulos fotovoltaicos, los cuales son los encargados de transformar la energía solar en eléctrica.

Sus usos no se limitan a los mencionados aquí, pero estas dos utilidades son las más importantes. Otros usos de la energía solar son:

Potabilizar agua (destiladores solares)

Cocción de alimentos (estufas solares)

Secado de productos agrícolas (secadores solares)

Evaporación

Destilación

Refrigeración

Actualmente la energía solar fotovoltaica es una de las energías renovables más desarrolladas y usadas en todo el mundo.

### 1.2 ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO.

México es uno de los países privilegiados en recurso solar, ya que se encuentra dentro de la franja geográfica con mayor insolación (Figura 1). Sin embargo el uso de la energía solar es inadecuado y prácticamente no existe el aprovechamiento de este recurso como consecuencia del uso excesivo de los hidrocarburos. Sin embargo se puede hacer mucho en cuestión de ahorro de energía que conlleven a la productividad y eficiencia en las diversas actividades del ser humano (García Chávez, 1999).

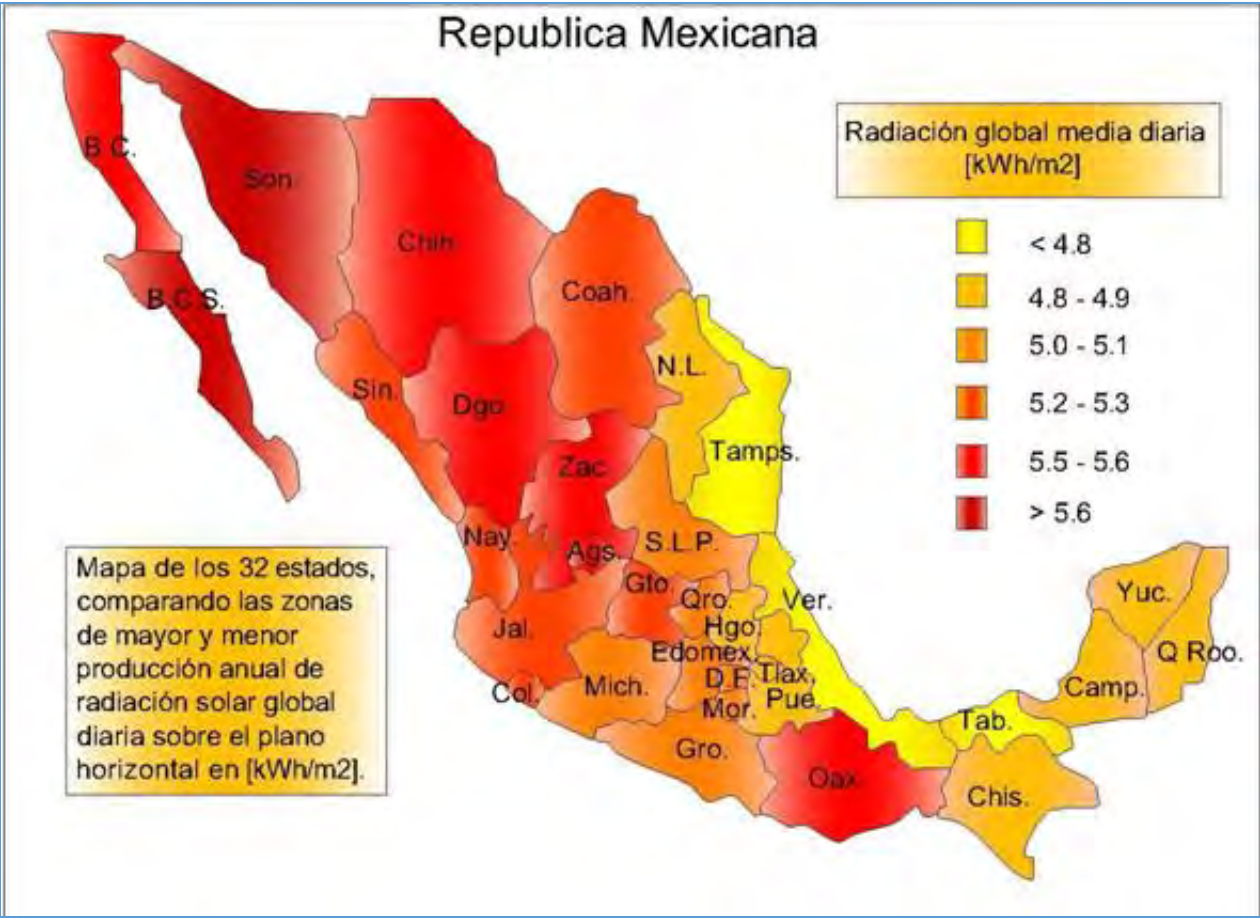


Figura 1. Mapa de radiación global media diaria en México (Muños Herrera, s.f.).

En la figura 2 se observan las horas de solares pico por día para la república mexicana, en donde se aprecia que el estado de Quintana Roo es uno de los estados con un buen promedio al respecto.

Horas de sol pico por día para la República Mexicana

Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*	
			Hor	Inc				Hor	Inc
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10	Nayarit	Tepic	21.51	6.06	6.42
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76	Nuevo León	Monterrey	25.70	5.17	5.43
	Mexicali	32.65	5.96	6.81	Oaxaca	Oaxaca	17.06	4.88	5.01
	Tijuana	32.54	5.96	6.79	Puebla	Puebla	19.06	5.22	5.44
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89	Querétaro	Querétaro	20.61	5.57	5.87
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80	Quintana Roo	Cancún	21.16	6.01	6.32
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16		Chetumal	18.51	5.85	6.09
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00	San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52	Sinaloa	Culiacán	24.82	6.05	6.52
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41		Los Mochis	25.80	6.35	6.84
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86		Mazatlán	23.20	6.04	6.47
	Torreón	25.53	5.96	6.37	Sonora	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30		Hermosillo	29.07	6.22	6.81
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36	Tabasco	Villahermosa	18.00	5.36	5.50
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36	Tamaulipas	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09		Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19
	León	21.11	5.75	6.07		Tampico	22.21	5.05	5.23
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52	Tlaxcala	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43	Veracruz	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17		Orizaba	18.85	4.64	4.76
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24		Veracruz	19.20	4.56	4.66
México	Toluca	19.28	5.77	6.09		Xalapa	19.50	4.71	4.84
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13	Yucatán	Mérida	20.97	5.94	6.23
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07	Zacateras	Zacatecas	22.77	5.86	6.21

Hor = Plano horizontal    Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente  
 \*De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Figura 2. Horas de sol pico por día para la República Mexicana (Muños Herrera, s.f.).

### 1.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y generan electrones libres que provocan una pequeña diferencia de potencial en sus extremos (figura 3). El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los módulos fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red, operación que es muy rentable económicamente pero que precisa todavía de subsidios para una mayor viabilidad. En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como por ejemplo en estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean los módulos fotovoltaicos como alternativa económicamente viable.

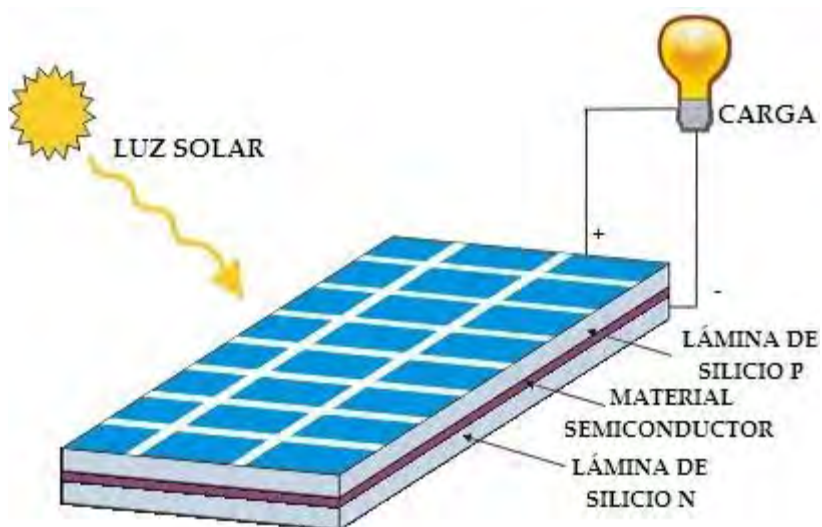


Figura 3. Esquema de la estructura básica de un módulo fotovoltaico (<http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.mx/>, 2016).

### 1.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos son un método para producir energía mediante el aprovechamiento de la radiación solar (figura 4). Es una energía totalmente limpia y renovable, además de eficiente. Existen diferentes tipos de módulos fotovoltaicos dependiendo de los materiales con que estén contruidos o su objetivo final (figura 5).



Figura 4. Fotografía de módulos fotovoltaicos (IPS solar, 2012).

# TIPOS DE MODULOS SOLAR

SILICIO PURO MONOCRISTALIN	SILICIO PURO POLICRISTALINO
	
Basados en secciones de una barra de silicio cristalizado en una sola pieza.	Los Módulos policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales.

Figura 5. Tipos de módulos fotovoltaico (STI Solar Technology).

Los módulos fotovoltaicos dejaron claro que era posible el autoabastecimiento de zonas rurales o apartadas de la red eléctrica, mediante el aprovechamiento de la energía solar. Estos módulos fotovoltaicos pueden ser de cualquier tamaño, desde pocos centímetros hasta decenas de metros.

Su funcionamiento se basa en la incidencia de los rayos del Sol en el módulo fotovoltaico, por lo que es básica su correcta orientación geográfica. La luz del Sol transmite energía a los electrones, permitiendo así que estos se separen de protones y neutrones y fluyan externamente del módulo en forma de electricidad.

Los módulos solares fotovoltaicos se pueden encontrar en distintos tipos de material, por ejemplo:

- Silicio puro monocristalino: Están basados en secciones de una barra de silicio cristalizado en una sola pieza.
- Silicio puro policristalino: Los materiales tienden a ser semejantes a los módulos solares de silicio puro monocristalino, aunque en esta ocasión el proceso de cristalización es diferente. Se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado de forma desordenada en forma de pequeños cristales.
- Silicio amorfo: También son paneles basados en silicio, pero este material no sigue una estructura cristalina. Este tipo de módulos son empleados habitualmente para pequeños dispositivos electrónicos.
- Arseniuro de Galio: Se trata de uno de los materiales más eficientes.

#### **1.4.1 CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO**

Para la realización del cálculo de la potencia y energía que suministrara un sistema fotovoltaico debe tomar en cuenta los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos que se extraen de sus hojas de especificaciones técnicas.

El funcionamiento eléctrico de los módulos, se observa mediante su curva característica. En la figura 6, se observa un ejemplo donde se representa la corriente en función del voltaje a partir de ciertos valores de irradiación solar.

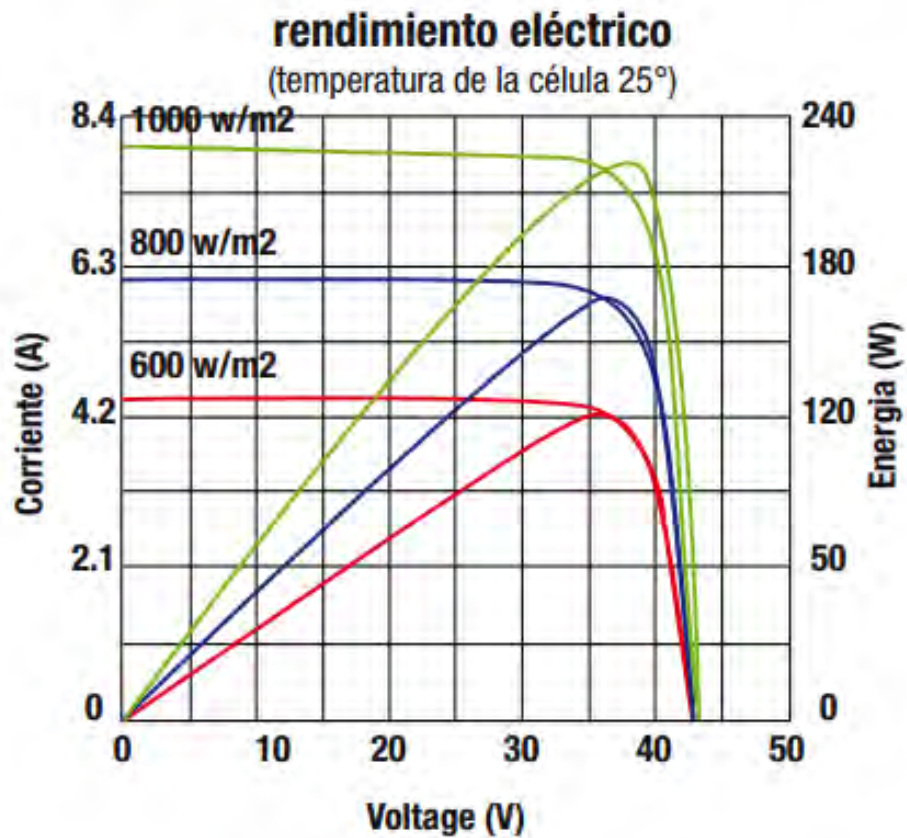


Figura 6. Gráfica de la eficiencia eléctrica de un módulo fotovoltaico (STI Solar Technology).

- Corriente de corto circuito ( $I_{CC}$ ): Es la máxima intensidad de corriente que se puede obtener de un módulo fotovoltaico. Se mide la corriente provocando un corto circuito en los bornes.
- Voltaje de circuito abierto ( $V_{CA}$ ): Es el Voltaje máximo que se medirá en un módulo fotovoltaico cuando no existe paso de corriente entre los bornes.
- Voltaje Nomina ( $V_n$ ): Es el valor de diseño al que trabaja el módulo fotovoltaico. por ejemplo 12, 24 o 48 volts.
- Punto de máxima potencia ( $P_M$ ): Es el valor máximo de potencia, corresponde al producto:  

$$P_M = (I_{Pmax}) (V_{Pmax})$$



Su valor se expresa en watts (W). Se trata del valor máximo de potencia que se puede obtener del módulo fotovoltaico. También se denomina potencia de pico del módulo. En este punto se obtiene la mayor eficiencia del módulo. No hay que olvidar que los valores de corriente y voltaje en este punto máximo de potencia son menores a la corriente de cortocircuito y al voltaje de circuito abierto, respectivamente y que en la práctica, el voltaje de trabajo se determina por el voltaje de almacenamiento (batería) y/o el convertidor (Pareja Aparicio, 2010).

#### 1.4.2 INFORMACION A CONSIDERAR DE MODULOS FOTOVOLTAICOS.

En la tabla 1, se muestra un ejemplo de datos eléctricos reales de un módulo fotovoltaico, y la explicación de lo que significa cada variable.

Tabla 1. Datos de un módulo fotovoltaico (STI Solar Technology).

Datos Eléctricos	Modelo 150	Explicación
Potencia máxima ( $P_{mpp}$ )	150W	Es un valor de pico. Corresponde a <b>la máxima potencia que puede entregar el panel en un momento dado</b> . Este valor debe ser superior al de consumo máximo para el que se ha diseñado el sistema fotovoltaico
Tensión de potencia óptima ( $V_{mpp}$ )	18.99V	Es el valor en voltios de la tensión que proporcionará el panel cuando esté trabajando en el valor de potencia $P_{mpp}$
Corriente punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ )	7.90A	Es el valor de la corriente proporcionada por el panel cuando se encuentra en el punto de máxima potencia $P_{mpp}$
Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ )	22.42V	Tensión en los terminales de conexión cuando no hay ninguna carga conectada al panel
Corriente de Cortocircuito ( $I_{sc}$ )	8.45A	Intensidad que circula por el panel cuando la salida está cortocircuitada
Eficiencia de la Célula ( $\pm 3\%$ )	17.96%	Rendimiento de la célula solar de silicio
Eficiencia del módulo ( $\pm 3\%$ )	15.12%	<b>Rendimiento</b> De un Módulo fotovoltaico

Como se observa en la tabla 1, todos los valores que nos ofrecen son interesantes para realizar comparaciones y los cálculos correspondientes. Es de resaltar, el valor de la eficiencia del módulo, que nos aportará la magnitud de este parámetro. Será necesario confirmar en qué condiciones se han realizado los ensayos de la eficiencia, para realizar la comparación de dos módulos similares de distintas marcas comerciales (generalmente se indica la temperatura de prueba que es de 25 °C).

En la tabla 2 se refleja la variación de los parámetros eléctricos del anterior módulo fotovoltaico, con la temperatura:

**Tabla 2.- Coeficientes de temperatura (STI Solar Technology).**

Coeficientes de temperatura		
Coeficiente de potencia	$T_K (P_{mpp})$	-0.47 %/°C
Voltaje en vacío	$T_K (V_{oc})$	-0.38 %/°C
Corriente en Cortocircuito	$T_K (I_{sc})$	+0.04 %/°C

El fabricante de los módulos fotovoltaicos proporciona los coeficientes de temperatura sobre los parámetros característicos del módulo. Estos datos nos aportan una idea de la variación que sufren, a medida que aumenta la temperatura. Por ejemplo, y según la tabla, este módulo disminuye su potencia un 0.47% por cada grado centígrado que aumente la temperatura. Por lo tanto, como ya se ha comentado, es muy importante el comportamiento del módulo solar fotovoltaico a diferentes temperaturas.

### 1.4.3 CONEXIÓN DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS

Todos los módulos fotovoltaicos disponen de un polo positivo (+) y otro negativo (-) por la parte trasera para su conexión y cableado. Los módulos fotovoltaicos generan corriente continua, que se transformará en corriente alterna, mediante un inversor.

Las conexiones que se pueden realizar en los módulos fotovoltaicos son dos: conexión en serie y conexión en paralelo.

#### -CONEXIÓN EN SERIE.

En una conexión en serie, los voltajes se suman y la intensidad resultante es la de uno de los módulos (deben ser de las mismas características). En la figura 7 se muestra un ejemplo de este tipo de conexión:

Conexión de dos módulos fotovoltaicos de  $V_{oc}$  22.42 V y corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  8.45 A

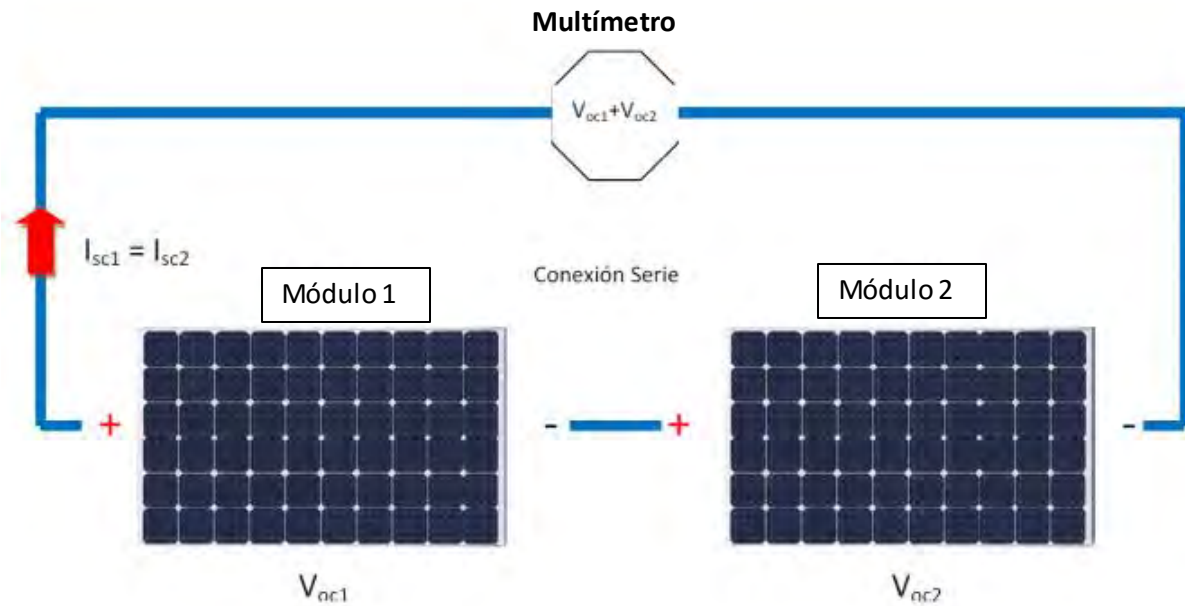


Figura 7. Conexión en serie de módulos fotovoltaicos (<http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/>, 2016.)

Como se ve en la figura 7 se ha conectado el polo negativo del módulo nº1 con el polo positivo del módulo nº2. Si se conecta un multímetro a la salida, se obtendrá lo siguiente:

Voltaje en vacío total:  $V_{oc} = V_{oc1} + V_{oc2} = 22.42 \text{ V} + 22.42 \text{ V} = 44.84 \text{ V}$

Corriente de cortocircuito:  $I_{sc} = I_{sc1} = I_{sc2} = 8.45 \text{ A}$

-CONEXIÓN EN PARALELO.

Conexión de dos módulos fotovoltaicos de  $V_{oc} 22.42 \text{ V}$  y corriente de cortocircuito  $I_{sc} 8.45 \text{ A}$

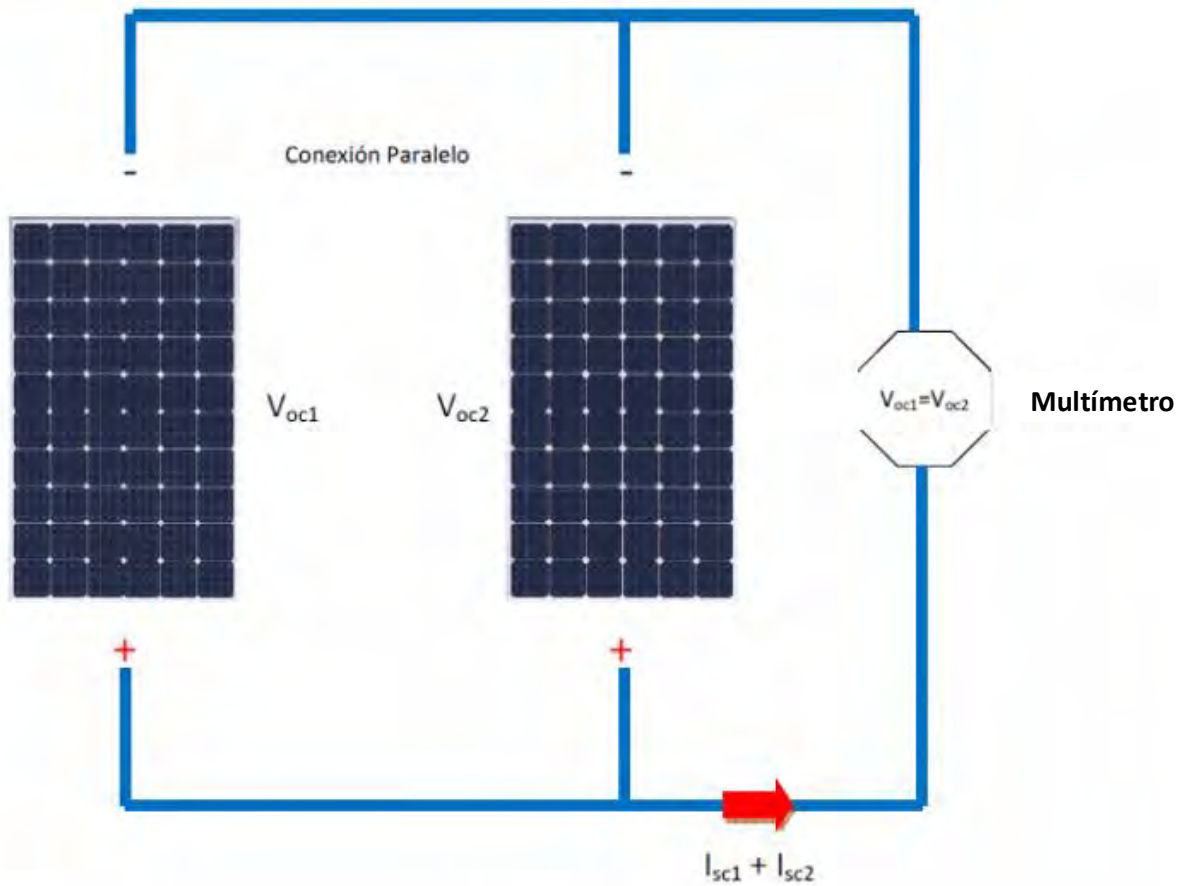


Figura 8. Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos (<http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/>, 2016.)

Como se ve en la figura 8 se ha conectado el polo negativo con del módulo n°1 con el polo negativo del módulo n°2, así como el positivo con el positivo. Si se conecta un multímetro a la salida, se obtendrá lo siguiente:

Voltaje en vacío total:  $V_{oc} = V_{oc1} = V_{oc2} = 22.42 \text{ V}$

Corriente de cortocircuito:  $I_{sc} = I_{sc1} + I_{sc2} = 8.45 \text{ A} + 8.45 \text{ A} = 16.9 \text{ A}$

Por lo tanto, en una conexión en paralelo, las corrientes se suman y el voltaje resultante es la de uno los módulos (deben ser de las mismas características).

## 1.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED (SFVI)

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red (figura 9), son ideales para bajar el tipo de tarifa eléctrica actual en residencias, comercios o empresas con altos consumos eléctricos. Se proponen sistemas interconectados a la red para la generación total o parcial del consumo promedio diario de los clientes (kW\*h/día). Por lo que se estarían generando grandes ahorros económicos y se dejaría de contaminar el planeta por la emisión de CO<sub>2</sub>.

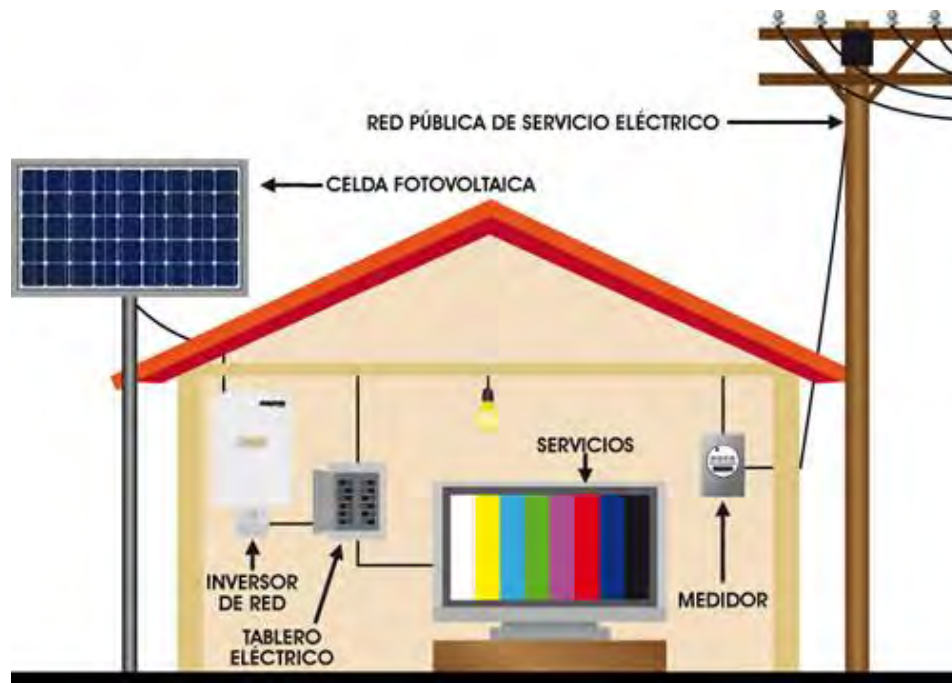


Figura 9. Diagrama básico de un SFVI (Funcosa, pág. 2016).

Las principales características de un SFVI son:

- Ayudan a los usuarios con tarifa DAC (doméstica de alto consumo) a salir de esa clasificación, reflejándose en ahorros muy importantes de dinero.
- Bajos costos de operación.
- No producen emisiones contaminantes.
- Modularidad (fácil expansión).
- Bajo impacto visual (se puede integrar al entorno arquitectónico).

Los principales componentes de un SFVI son: los módulos fotovoltaicos, el inversor, la instalación eléctrica y el medidor bidireccional (como se observa en la figura 10).

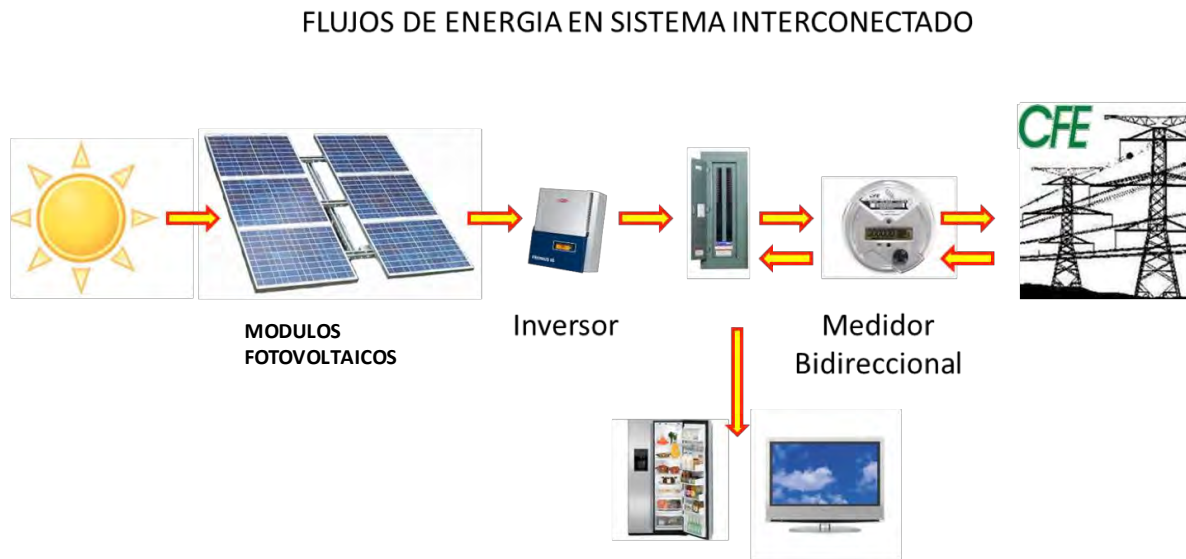


Figura 10. Esquema de los componentes de un SFVI (<http://www.ciinsa.com/>, 2016)

-**Los módulos fotovoltaicos:** Los módulos fotovoltaicos son los encargados de transformar la radiación solar en corriente directa.

-**El Inversor:** Son dispositivos electrónicos importantes dentro de los sistemas fotovoltaicos, ya que son los encargados de convertir la corriente directa almacenada en las baterías, en corriente alterna como la convencional que provee la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

-**El medidor bidireccional:** es un componente fundamental para sistemas fotovoltaicos con interconexión a la red de la CFE, ya que con éste medidor es posible registrar la energía excedente generada por el SFVI, y que no es consumida en determinado momento del periodo diurno, los kWh inyectados a la red de la CFE se toman como un crédito temporal, mismos que se restan del total de su consumo al final del bimestre (figura 11).



**Figura 11. Imagen de un medidor bidireccional (elirmex, 2016).**

El sistema solar fotovoltaico estará dimensionado de tal forma, que genere energía eléctrica de acuerdo al promedio anual de su residencia o instalación, teniendo diferentes variantes con el objetivo de pagar la menor cantidad en su facturación de su recibo de la CFE.

#### -TIPOS DE MEDIDORES BIDIRECCIONALES.

- 1) Medidores monofásicos con 4 terminales para instalaciones residenciales en baja tensión con una fase y neutro.
- 2) Medidores bifásicos con 5 terminales para instalaciones residenciales y comerciales en baja tensión con 2 fases y neutro.
- 3) Medidores trifásicos con 7 terminales para instalaciones residenciales y comerciales en baja tensión con 3 fases y neutro.
- 4) Medidores trifásicos con 13 terminales para instalaciones comerciales e industriales en media y alta tensión.

Marcas: Itron, Elster, GE, Landis +Gyr entre otros, aprobados por la CFE.

En el 2015 se diseñó, instaló y se puso en operación un sistema fotovoltaico interconectado a la red de 2.5 kW en las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo, el cual tiene como propósito de servir en la realización de prácticas y proyectos a los alumnos y profesores de la carrera de ingeniería en sistemas de energía. Por lo que, el presente trabajo monográfico tiene como objetivo:

**Objetivo General:** Analizar la energía que puede ser generada por el sistema fotovoltaico interconectado a la red de 2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo y comparar con dos casos reales, si esta energía generada es suficiente para sus necesidades.

**Objetivos específicos:**

- Estimar teóricamente la energía generada por el SFVI de la UQROO para las condiciones de la ciudad de Chetumal.
- Realizar un análisis socioeconómico sobre el SFVI en dos tipos de usuarios domésticos (casos reales: uno tarifa tipo 1C y el otro tarifa DAC).
- Hacer recomendaciones sobre el uso que se le puede dar a la energía generada por el SFVI en la Universidad de Quintana Roo.



## CAPITULO 2. SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED DE LA UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

En este capítulo se presentan las características generales, ubicación y especificaciones de cada uno de los componentes que integran el sistema fotovoltaico interconectado a la red (SFVI) de la Universidad de Quintana Roo (UQROO).

### 2.1 UBICACIÓN

El SFVI está ubicado en las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo, en la ciudad de Chetumal municipio de Othón P. Blanco, del estado de Quintana Roo. Específicamente en el área de la División de Ciencias e Ingeniería (taller de ingeniería) como se observa en la figura 12.

La ubicación geográfica del SFVI es:

18°31'25.35" Latitud Norte

88°16'04.99" Longitud Oeste

6 m de elevación.



Figura 12. Fotografía de la ubicación física del SFVI (Google Earth, 2016).

- Básicamente el SFVI está integrado por:
- 10 módulos fotovoltaicos de 250 W cada uno.
  - Un Inversor.
  - Instalación eléctrica.
  - Bases y estructuras de soporte.

En las figuras 13, 13a 13b, 13c y 13d se muestran algunas fotografías del SFVI de la UQROO.



**Figura 13. Fotografía del SFVI de la UQROO (Cesar Córdova Quintero, 2016).**



**Figura 13a. Fotografía de la vista lateral izquierda del SFVI de la UQROO (Cesar Córdova Quintero, 2016).**



**Figura 13b.- vista lateral derecha del SFVI de la UQROO (Cesar Córdova Quintero, 2016).**



Figura 13c.- inversor del SFVI de la UQROO (Jorge Elías Pinelo Baños, 2015).

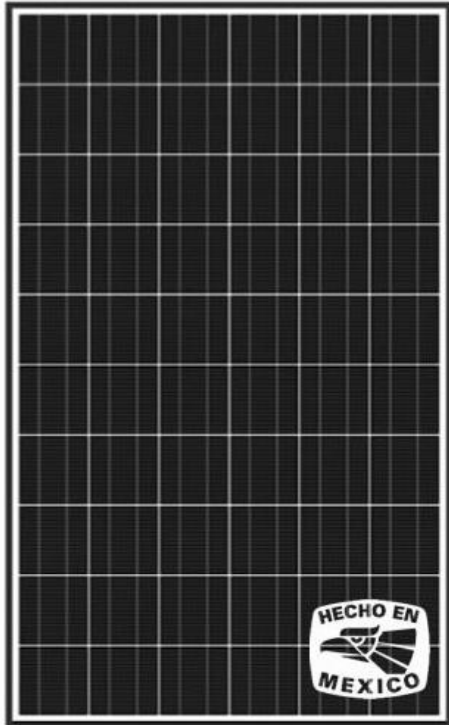


Figura 13d.- conexión del inversor del SFVI de la UQROO (Jorge Elías Pinelo Baños, 2015).

## 2.2. COMPONENTES

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Los módulos fotovoltaicos del SFVI son de la marca Solartec, modelo S60PC (figura 14) están formados por 60 celdas policristalinas de 156 mm. Los módulos están hechos en México y cuentan con certificación UL. El módulo S60PC también está disponible con marco de aluminio adonizado color negro y fondo negro.



**Figura 14. Imagen del módulo fotovoltaico S60PC (solartec, 2016).**

Las especificaciones del módulo fotovoltaico se dan en la tabla 3.

**Tabla 3.- especificaciones del módulo fotovoltaico s60pc (solartec, 2016).**

Especificaciones	
Número de celdas	60 (6x10)
Máxima potencia de salida	250 W
Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ )	37.85 V CD
Voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ )	30.12 V CD
Corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ )	8.65 A
Corriente en el punto de máxima potencia.	8.30 A
Máximo voltaje del sistema	600 V CD
Valor máximo del fusible en serie	15 A
Temperatura de operación	-40 a +90 °C

Dimensiones del módulo	1640mm x992 mm
Peso	23.5 kg.
Cable	90 cm. de largo, capa XLPE, certificado TÜV, 4.0 mm <sup>2</sup>
Conexión	Unión Tipo IV IP65, caja con 6 diodos de paso, MC4 tipo plug, certificado TÜV
Hoja trasera	Blanca
Marco	Aluminio (40 mm)
Eficiencia del módulo	15.29%

La curva característica corriente contra voltaje del módulo fotovoltaico se observa en la figura 15.

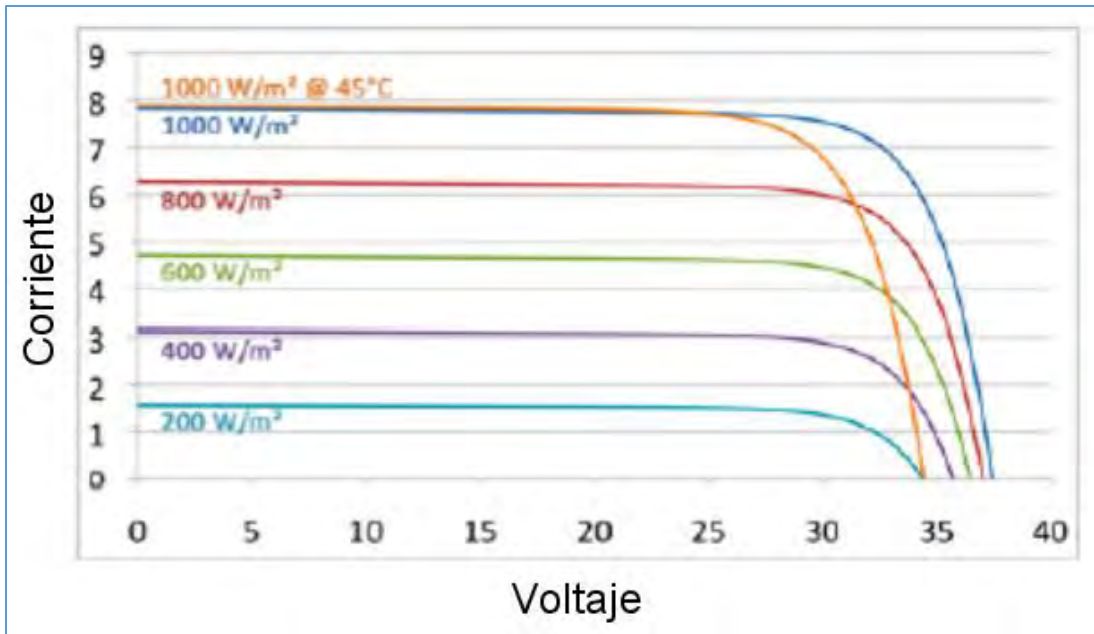


Figura 15.- Gráfica de curva característica corriente contra voltaje (Solartec, 2016).

Las dimensiones del módulo fotovoltaico se observan en las figuras 16 y 17.

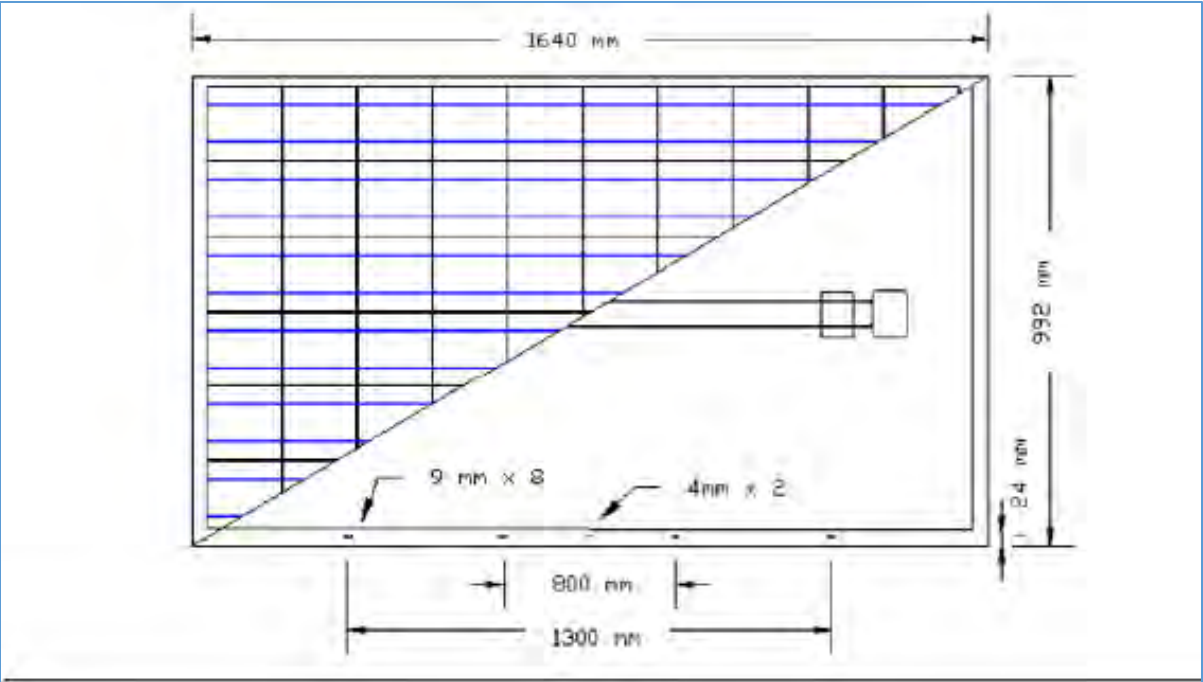


Figura 16.- Imagen de las dimensiones del módulo fotovoltaico (Solartec, 2012).

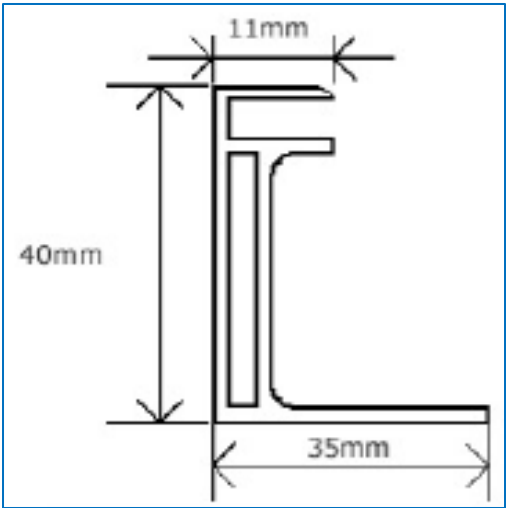


Figura 17.- Imagen de las dimensiones del marco de aluminio (Solartec, 2012).



### **2.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR.**

El inversor del SFVI es de la marca Fronius IG Plus 50 (figura 18), con una potencia de salida máxima de hasta 5 kW. Este inversor es ideal para instalaciones fotovoltaicas pequeñas, por ejemplo, en casas familiares para instalaciones que requieran una mayor potencia, se puede combinar naturalmente con otros inversores de Fronius.



**Figura 18. Imagen del inversor Fronius IG plus 5.0 (Fronius, 2016).**

#### **CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO.**

##### **Puesta a tierra en sitio.**

En el sitio de instalación, se debe decidir si se requiere o necesita conectar los módulos a tierra, para esto basta con insertar un fusible de seguridad, activar el software, y estará listo para la puesta a tierra.

##### **Para interiores y exteriores.**

Todas las unidades Fronius IG Plus disponen de un cuerpo metálico robusto y de elegante diseño. Su resistencia a la luz ultravioleta y a la corrosión, los hace aptos para aplicaciones tanto en interiores como en exteriores.

##### **Seccionador DC integrado.**

No requiere ninguna instalación ni cableado adicional. Máximo confort y seguridad conforme a la norma DIN-VDE 0100-712.

### El nuevo sistema de conexión Power.

La caja de conexiones y el módulo inversor se montan por separado. El montaje de estos componentes consiste en: Primero se fija en la pared la caja de conexiones como de costumbre. A continuación, se empotra el módulo inversor sobre ésta. El conector de enchufe Power une las dos partes en una unidad sólida. Durante los servicios de mantenimientos, la caja de conexiones queda fija en la pared - conservando todos los ajustes y configuraciones.

Datos técnicos

**Tabla 4.- datos técnicos de diferentes modelos de inversores Fronius (Fronius, 2016)**

Fronius IG Plus	5.0-1UNI	6.0-1UNI	7.5-1UNI
<b>Datos de entrada</b>			
Potencia FV recomendada (Wp)	4250-5750	5100-6900	6350-8600
Rango de voltaje MPP	230 - 500 V		
Máxima tensión de entrada (a 1000 W/m <sup>2</sup> -10°C en operación a circuito abierto)	600 V		
Corriente Nominal de entrada	13.8 A	16.6 A	20.7 A
Corriente máxima de entrada	23.4 A	28.1 A	35.1 A
Cable conductor admisible (DC)	No. 14-6 AWG		
<b>Datos de salida</b>			
Potencia nominal de salida AC (PAC nom)	5000 W	6000 W	7500 W

Máxima potencia de salida 40°C 208 V / 240 V / 277 V	5000 W	6000 W	7500 W
Voltaje nominal AC de salida	208 V / 240 V / 277 V		
Rango de operación de voltaje AC	208 V      183 - 229 V (-12 / +10 %) 240 V      211 - 264 V (-12 / +10 %) 277 V      244 - 305 V (-12 / +10 %)		
Corriente máxima de salida			
208 V	24.0 A	28.8 A	36.1 A
240 V	20.8 A	25.0 A	31.3 A
277 V	18.1 A	21.7 A	27.1 A
Cable conductor admisible (AC)	No. 14 - 4 AWG		
Utilidad máxima de corriente de realimentación continua	0 a		
Frecuencia nominal	60 Hz		
Rango de frecuencia de operación	59.3 - 60.5 Hz		
Distorsión armónica total	< 3 %		
Factor de potencia	1		
<b>Datos generales</b>			
Eficiencia Máxima	96.2 %		

Eficiencia	CEC						
208	V	95.5	%	95.5	%	95.0	%
240	V	95.5	%	96.0	%	95.5	%
277 V		96.0 %		96.0 %		96.0 %	
Consumo en modo de espera (nocturno)	< 1 W						
Consumo durante operación	15 W						
Enfriamiento	Ventilación forzada controlada, velocidad variable de ventilador						
Encapsulamiento	NEMA 3R						
Dimensiones de la unidad (Ancho x Alto x Fondo)	43.3 x 92 x 24.38 cm						
Peso del compartimiento de potencias	26 kg						
Peso del compartimiento del cableado	12 kg						
Temperatura ambiente admisible para operación	-20 ... + 50°C						
Certificados	UL 1741-2005, IEEE1547-2003, IEEE 1547.1, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A&B, NEC Artículo 690, C22. 2 No. 107.1-01 (Sept. 2001)						
<b>Seguridad</b>							

Protección contra falla de conexión a tierra	Interno GFDI (Detector / interruptor de falla de conexión a tierra); de conformidad con UL 1741-2005 y NEC Art. 690
Protección de polaridad inversa DC	Diodo interno
Protección Islanding	Interna; de conformidad con UL 1741-2005, IEEE 1547-2003 y NEC
Sobre temperatura	Disminución de potencia de salida / enfriamiento activo

### 2.2.3 MEDIDOR BIDIRECCIONAL

El inversor bidireccional no se consideró en el proyecto debido a que es para fines didácticos, sin embargo se pueden hacer mediciones prácticas con los diferentes equipos de medición con los que cuenta la Universidad. Sin embargo se espera que en un futuro se adquiriera uno.

### 2.2.4 CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES Y PROTECCIONES.

Los conductores utilizados en el SFVI fueron elegidos de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012 que incluye instalaciones de sistemas interconectados tales como, cable unipolar AWG 12 rojo y negro y cables DWG 10, así como protecciones de 15 A.

# **CAPITULO 3. CÁLCULO DE LA ENERGÍA SUMINISTRADA POR EL SFVI, AHORRO ECONÓMICO, ESTIMADO DE INVERSIÓN Y TIEMPO APROXIMADO DE RECUPERACIÓN.**

En este capítulo se realizan los cálculos teóricos de la energía que el sistema fotovoltaico puede proporcionar, asimismo se hace un ejercicio del ahorro que ésta energía puede proporcionar implementándolo en dos usuarios: uno de tarifa 1C y otro con tarifa DAC, así como un análisis económico sobre la inversión y tiempo de recuperación de implementar este sistema en cualquiera de los dos casos presentados, por ultimo algunas recomendaciones sobre posible uso que se le puede dar al sistema en la UQROO.

## **3.1 TARIFA 1C DE LA CFE 2016.**

La tarifa 1C de la CFE se emplea para servicio doméstico en localidades con temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados. Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, en localidades cuya temperatura media mensual en verano sea de 30 grados centígrados como mínimo. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Se considerará que una localidad alcanza la temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados, cuando alcance el límite indicado durante tres o más años de los últimos cinco de que se disponga de la información correspondiente. Se considerará que durante un año alcanzó el límite indicado cuando registre la temperatura media mensual durante dos meses consecutivos o más, según los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

## APLICACIÓN DE LAS TARIFAS.

La tarifa es aplicada por la CFE en función de la temporada del año, el periodo de verano de verano que está en función del mes en el cual inicia el verano en tu ubicación y consta de seis meses, y el periodo fuera de verano que son los otros seis meses.

El cargo por energía se muestra en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5.- Costo de la energía en el periodo fuera de verano (elaboración propia).**

<b>Periodo fuera de verano (bimestral)</b>		
enero, febrero, marzo, octubre, noviembre, diciembre		
<b>Rango</b>	<b>Costo</b>	<b>Descripción</b>
básico	\$ 0.793	Por cada uno de los primeros 150 kilow atts-hora.
intermedio	\$ 0.956	Por cada uno de los siguientes 200 kilow atts-hora.
excedente	\$ 2.802	Por cada kilow att-hora adicional a los anteriores.

**Tabla 6.- Costo de la energía en el periodo de verano (elaboración propia).**

<b>Periodo de verano (bimestral)</b>		
abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre		
<b>Rango</b>	<b>Costo</b>	<b>Descripción</b>
básico	\$ 0.697	por cada uno de los primeros 300 kilow atts-hora
intermedio bajo	\$ 0.822	por cada uno de los primeros 300 kilow atts-hora
intermedio alto	\$ 1.050	por cada uno de los primeros 300 kilow atts-hora
excedente	\$ 2.802	Por cada kilow att-hora adicional a los anteriores.

En la tabla 6 se puede observar que la energía es más barata por los rangos que maneja la CFE.

### **3.2 TARIFA DAC.**

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico. Se considera de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para tu localidad. El consumo mensual promedio se determinará con el promedio móvil del consumo registrado por el usuario en los últimos 12 meses.

Cuando el Consumo Mensual Promedio sea inferior al Límite de Alto consumo fijado en la localidad, se aplicará la tarifa doméstica que corresponda. Para el caso específico de la tarifa 1C la CFE maneja un consumo promedio anual de 850 kW-h/mes y su tarifa se muestra a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7.- Costo de la energía en tarifa DAC (elaboración propia).**

<b>Tarifa DAC</b>	
cargo fijo	\$ 86.16
costo por cada kilowatt-hora	\$ 3.08

### 3.3 CALCULO TEORICO DE LA ENERGIA QUE PUEDE ENTREGAR EL SISTEMA.

Con las horas solares pico por mes de la ciudad de Chetumal y la potencia de los módulos fotovoltaicos se puede estimar la energía que el SFVI proporcionará (tabla 8), sin embargo para fines prácticos de cálculo se utilizan las horas solares pico promedio como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 8.- Energía teórica suministrada por el SFVI por mes (elaboración propia).**

Número de módulos:	10	bimestre(días)	60	potencia del módulo (kW)	0.25						
Estado	Ciudad	Lat	Long	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Quintana Roo	Chetumal	18.5	88.3	5.3	6	6.5	6.3	6.5	5.6	5.8	
<b>energía bimestral suministrada por los módulos (Kw-h)</b>				795	900	975	945	975	840	870	
				Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Prom
				5.9	5.3	5.3	5.4	5.3	5.2	6.5	5.80
				885	13.25	795	810	795	780	975	870

**Tabla 9.- Energía teórica suministrada por el SFVI (elaboración propia).**

<b>SOLARTEC S60PC-250</b>					
Número de módulos	potencia (kW)	potencia total (kW)	horas s.p	energía día (kW-h)	energía mes (kW-h)
10	0.25	2.5	5.85	14.625	438.750
energía bimestral (kW/h)		877.5			

La energía suministrada bimestralmente se utilizó para realizar estimaciones sobre ahorro económico que obtendrían diferentes usuarios en periodo de verano y fuera de verano, en este caso uno de uso doméstico con tarifa 1C (caso 1) y el otro con tarifa DAC (caso 2).



Los usuarios están conscientes que están rebasados por la demanda de energía que requieren y por ello dieron la oportunidad de hacer un análisis a sus facturaciones, en caso del usuario con tarifa 1C tiene equipos de uso común como refrigerador, horno de microondas, ventiladores de techo, televisión, 1 computadora y un aire acondicionado que usa en promedio de 2 a 3 horas diarias. El usuario con tarifa DAC es similar al usuario con tarifa 1C, pero este usuario tiene dos aires acondicionado que utiliza más tiempo que el usuario con tarifa 1C. En general los usuarios cuidan el consumo de energía para ahorrar, sin embargo se ven rebasados por los equipos que manejan. Se realizó un recorrido en las instalaciones de los usuarios y se pudo observar que son usuarios que se ven rebasados en su consumo por el tamaño de su vivienda y necesidades de energía eléctrica, sin embargo en este trabajo se pretende demostrar que haciendo un análisis directamente con un recibo de la CFE el ahorro que se puede obtener es significativo.

### 3.4 CASO 1: USUARIO DE USO DOMESTICO.

En la tabla 10 se observa la facturación de un recibo de la CFE de un usuario promedio de tipo doméstico en temporada de verano con tarifa 1C.

Tabla 10.- Facturación de un usuario tipo doméstico en temporada de verano (elaboración propia).

<b>Facturación 1C (verano)</b>			
<b>Concepto</b>	<b>kW-h</b>	<b>Precio</b>	<b>subtotal</b>
Básico	300	\$ 0.711	\$ 213.30
Intermedio bajo	300	\$ 0.839	\$ 251.70
Intermedio alto	263	\$ 1.071	\$ 281.67
Excedente		\$ 2.859	\$ -
Suma	863		\$ 746.67
importe			
Energía	\$ 746.67		
IVA 16%	\$ 119.47		
dap	\$ 37.33		
<b>Total</b>			<b>\$ 903.47</b>

En la tabla 11 se observa el mismo usuario doméstico pero facturado en el periodo fuera de verano.

Tabla 11.- Facturación de un usuario tipo doméstico en temporada fuera de verano (Elaboración propia).

<b>Facturación 1C(fuera de verano)</b>			
<b>Concepto</b>	<b>kW-h</b>	<b>precio</b>	<b>subtotal</b>
Básico	150	\$ 0.793	\$ 118.95
Intermedio	200	\$ 0.956	\$ 191.20
Excedente	513	\$ 2.802	\$1,437.426
Suma	863		\$1,747.58
Importe			
Energía	\$ 1,747.58		
IVA 16%	\$ 279.61		
dap	\$ 87.38		
<b>Total</b>	<b>\$ 2,114.57</b>		

Como se puede observar la diferencia del costo de energía entre ambos periodos es del doble, si se implementa el sistema fotovoltaico de interconexión a la red a este usuario doméstico, se ahorrará básicamente todo el costo de la energía ya que el consumo de este usuario estaría ligeramente por encima de la energía que el sistema puede suministrar (tabla 12).

Tabla 12.- Facturación del usuario doméstico con la implementación del SFVI (elaboración propia).

<b>Facturación con los módulos fotovoltaicos</b>			
<b>concepto</b>	<b>kW-h</b>	<b>precio</b>	<b>subtotal</b>
Básico	14.5	\$ 0.711	\$ 10.31
Intermedio bajo		\$ 0.839	\$ -
Intermedio alto		\$ 1.071	\$ -
Excedente		\$ 2.859	\$ -
Suma	14.5		\$ 10.31
Importe			
Energía	\$ 10.31		
IVA 16%	\$ 1.65		
dap	\$ 0.52		
<b>Total</b>	<b>\$ 12.47</b>		

El precio aproximado del costo del sistema es de \$130,000 pesos, con éste costo se realizó un tiempo estimado de recuperación si el usuario invirtiera dicha cantidad (tabla 13).

Tabla 13.- Tiempo estimado de recuperación de la inversión en el sistema (Elaboración propia).

Tiempo estimado de recuperación de la inversión				
Ahorro en verano	Ahorro fuera de verano	total(anual)	inversión	años de recuperación
\$ 5,408.38	\$ 12,674.93	\$ 18,083.31	\$ 130,000.00	<b>7.18895</b>

El tiempo estimado de recuperación es muy viable considerando que un sistema fotovoltaico tiene una vida útil de aproximadamente entre 20 y hasta 30 años con un adecuado mantenimiento, el usuario podrá gozar de no pagar energía por un largo periodo.

Si se ve la inversión desde el punto de vista de que muchos usuarios hacen inversiones por ejemplo por un automóvil, bien podrían hacer el esfuerzo por una instalación que le daría muchos beneficios, además de que se ofrecen subsidios por parte del FIDE para este tipo de proyectos.

### 3.5 CASO 2: USUARIO DAC

En la tabla 14 se presenta la facturación de un usuario tipo DAC, su consumo promedio anual está por encima de lo establecido por la CFE, por lo tanto, si se implementa un SFVI de la misma cantidad de potencia del instalado en la Universidad de Quintana Roo este usuario regresara a su tarifa ordinaria de uso doméstico 1C.

Tabla 14.- Usuario con facturación tipo DAC (Quintero, 2016).

FACTURACIÓN DAC			
Concepto	kW-h	precio	subtotal
Cargo fijo		\$ 86.16	\$ 172.32
Básico	1800	\$ 3.08	\$ 5,544.00
Suma	1800	\$ -	\$ 5,716.32
Importe			
Energía	\$ 5,716.32		
IVA 16%	\$ 914.61		
dap 5%	\$ 285.82		
Total	<b>\$ 6,916.75</b>		

En las tablas 15 y 16 se muestran las facturaciones del usuario con la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 15.- Facturación con tarifa 1C en el periodo fuera de verano del usuario DAC (Quintero, 2016).

<b>Facturación 1c(fuera de verano)</b>			
<b>Concepto</b>	<b>kW-h</b>	<b>precio</b>	<b>subtotal</b>
Básico	150	\$ 0.793	\$ 118.95
Intermedio	200	\$ 0.956	\$ 191.20
Excedente	572.5	\$ 2.802	\$ 1,604.145
Suma	922.5		\$ 1,914.30
Importe			
Energía	\$ 1,914.30		
IVA 16%	\$ 306.29		
dap	\$ 95.71		
<b>Total</b>	<b>\$ 2,316.30</b>		

Tabla 16.- Facturación con tarifa 1C en el periodo de verano del usuario DAC (Quintero, 2016).

<b>Facturación 1c (verano)</b>			
<b>Concepto</b>	<b>kW-h</b>	<b>precio</b>	<b>subtotal</b>
Básico	300	\$ 0.711	\$ 213.30
Intermedio bajo	300	\$ 0.839	\$ 251.70
Intermedio alto	300	\$ 1.071	\$ 321.30
Excedente	22.5	\$ 2.859	\$ 64.328
Suma	922.5		\$ 850.63
Importe			
Energía	\$ 850.63		
IVA 16%	\$ 136.10		
dap	\$ 42.53		
<b>Total</b>	<b>\$ 1,029.26</b>		

Con la implementación del sistema el usuario estaría ahorrando bimestralmente en promedio \$ 5,243.97, así, estaría pagando \$ 2,316.30 en periodo fuera de verano y \$ 1,029.26 y un tiempo estimado de recuperación mostrado en la tabla 17. El ahorro se estaría reflejando a partir de la segunda facturación una vez instalado el sistema debido a que en la primera facturación el promedio aún estará ligeramente por encima de lo establecido por la CFE.

Tabla 17.- Tiempo estimado de recuperación de la inversión (Quintero, 2016).

tiempo estimado de recuperación de la inversión				
ahorro en verano	ahorro fuera de verano	total(anual)	inversión	años de recuperación
\$ 6,175.56	\$ 13,897.78	\$ 20,073.34	\$ 130,000.00	6.47625

El tiempo estimado de recuperación para este usuario es viable, además de que tiene la posibilidad de que si se hace una inversión mayor por un sistema de mayor capacidad el costo de energía será mucho más económica y el tiempo de recuperación podría ser inclusive menos tiempo.

### **3.6 RECOMENDACIONES SOBRE SU APROVECHAMIENTO EN LA UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

El aprovechamiento que se le puede dar en la Universidad más allá de ser económico para la reducción de costos en la energía es de uso didáctico, ya que los costos de energía de la Universidad son muy altos y la energía generada por el sistema es un pequeño porcentaje, pero sería de gran ayuda para que los alumnos tengan más conocimiento práctico sobre este tipo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.

Con la energía suministrada por el sistema se pueden hacer prototipos de casas habitación con equipos usados por usuarios domésticos y hacer análisis y mediciones reales del SFVI y con resultados más reales concientizar a las personas sobre el ahorro del uso de las energías renovables. El sistema es capaz de alimentar alrededor de 5400 luminarias tipo T-8 de 32 W, misma que hacen mucha falta en muchos lugares de la Universidad que no cuentan con buena iluminación.

## **CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica hoy en día son un método muy eficiente para bajar los costos de energía eléctrica, por lo que es muy importante que la Universidad de Quintana Roo invierta en este tipo de proyectos por ser una de las universidades que tiene la carrera en sistemas de energía, la cual está proyectada al uso de las energías renovables, con esto el estudiante tiene más oportunidad de hacer prácticas reales sobre este tipo de sistemas y sobre todo la manera de instalarlos.

Con el análisis realizado al SFVI de la UQROO puedo decir que es una buena inversión siempre y cuando la energía utilizada sea en promedio 2,000 kW-h bimestral, si el consumo es mayor a este se podría implementar un sistema con más capacidad de carga aunque la inversión se elevaría, habría que hacer un análisis socioeconómico para definir si es conveniente la inversión u optar por un cambio de tarifa. Con la implementación del SFVI a una demanda de energía de 2,000 kW-h podremos reducir entre un 70 y 75% el costo de la energía y el tiempo de recuperación sería menos de 10 años lo cual es muy bueno tomando en cuenta que el tiempo de vida de un SFVI es entre 20 y 25 años.

Este análisis fue realizado tomando en cuenta que el consumo de cada usuario si corresponde al uso que se le da a la energía, sin embargo si en algún usuario se detectara que la energía usada no correspondiera al uso que a esta se le da, se puede hacer un diagnóstico energético y determinar qué es lo más conveniente para este usuario.

Este tipo de SFVI puede ser de mucha aceptación por usuarios que estén conformes con sus facturaciones y este sistema les puede ofrecer seguir teniendo la misma facturación sin embargo ahora podrán en este caso instalar equipos de aire acondicionado que hoy en día más que un lujo es una necesidad para el usuario de climas cálidos debido que en verano el calor es cada vez más fuerte.

Finalmente con la formación académica obtenida en la carrera de ingeniería en sistemas de energía de la Universidad de Quintana Roo, los egresados estamos capacitados para instalar este tipo de sistemas y las nuevas generaciones tendrán la oportunidad de utilizar el sistema instalado para su mejor comprensión.

## Referencias

Sánchez Juárez, Aarón. Celdas solares y sistemas fotovoltaicos / México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); Laboratorio de Energía Solar; Instituto de Investigación en Materiales, s/f.

Gasquet, H. L., 2004. *Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica*. Cuernavaca(Morelos): Solartronic, S.A. de C.V..(PDF)

UNIVERSIDAD VERACRUZANA: FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA. "TECNOLOGIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR: TERMICA Y FOTOVOLTAICA" TESIS: DAVID CUAUHEMOC BAUTISTA BELEZ. (PDF)

<http://www.funcosa.com.mx/productos/sistemas-fotovoltaicos/sistema-interconectado.html>

<http://www.gstriatum.com/energiasolar/>

<http://energia-renovable.eu/tipos-de-paneles-solares/>

<http://www.elirmex.com.mx/medidor-bidireccional.html>

<http://webosolar.com/store/es/inversores-centrales/767-inversor-fronius-ig-plus-a-50-1-uni-interconexion-5000w.html>

<http://webosolar.com/store/es/panel-solar-interconexion/1364-panel-solar-policristalino-solartec-s60pc-250w.html>

[http://www.fronius.com.mx/cps/rde/xchg/SIDAE10C409A4E3817F/fronius\\_mexico/hs.xsl/6884\\_8227.htm#.VfJS\\_Pmqqko](http://www.fronius.com.mx/cps/rde/xchg/SIDAE10C409A4E3817F/fronius_mexico/hs.xsl/6884_8227.htm#.VfJS_Pmqqko)

<http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-fotovoltaicos-cual-elegimos/#>

Informe Final del Proyecto "Diseño y puesta en operación del sistema fotovoltaico interconectado a la red de 2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo" Noviembre de 2015. Universidad de Quintana Roo.

## ANEXOS.

Tarifa 1:	250 (doscientos cincuenta)	kWh/mes.
Tarifa 1A:	300 (trescientos)	kWh/mes.
Tarifa 1B:	400 (cuatrocientos)	kWh/mes.
Tarifa 1C:	850 (ochocientos cincuenta)	kWh/mes.
Tarifa 1D:	1,000 (un mil)	kWh/mes.
Tarifa 1E:	2,000 (dos mil)	kWh/mes.
Tarifa 1F:	2,500 (dos mil quinientos)	kWh/mes.

**Anexo 1.- Límite de consumo de energía para caer en tarifa DAC según su clasificación.**