



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**TESINA**

**Aplicación de sistemas fotovoltaicos en zonas  
marginadas del estado de Veracruz sin recursos de energía  
eléctrica**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

**CÉSAR OMAR SILVA PIGENUTT**

DIRECTORA DE TESINA:

**DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA AGOSTO 2015.**

## JURADO ASIGNADO

**PRESIDENTE:** M.I. Luis Arturo Haro Ruiz

**VOCAL:** Dra. Alejandra Castro González

**SECRETARIO** Ing. Gloria Mata Hernández

**1er. SUPLENTE:** M.I. Eleuteria Silvina Alonso Salinas

**2do. SUPLENTE:** Mtro. Héctor Mora García

### **SITIO DONDE SE DESARROLLO ESTE TEMA:**

Comunidad *El Ejido* en el municipio de Tihuatlán, Veracruz, México

### **ASESORA DEL TEMA:**

Dra. Alejandra Castro González

\_\_\_\_\_

### **SUSTENTANTE:**

Cesar Omar Silva Pigenutt

\_\_\_\_\_

# AGRADECIMIENTOS

A mis padre Amelia Pigenutt González y Jorge Silva Domínguez, por su apoyo incondicional a lo largo de este gran camino. Por enseñarme a afrontar las cosas, siempre salir adelante y con la cara en alto. Por todos esos días de desvelo en el cual me procuraron y me alentarme a no rendirme y seguir adelante para lograr mis metas. Gracias por tantos días en los cuales me han llenado de orgullo, satisfacción y ser todo un ejemplo a seguir ante la vida. Los amo infinitamente.

A mi hermana Griselda Karina Silva Pigenutt, por su infinita paciencia al momento de enseñarme nuevas cosas, por estar en esos momentos buenos y malos, siempre dando un buen consejo. Por tenderme la mano en múltiples ocasiones a pesar de estar en momentos malos y nunca dejarme caer.

A mi gran familia por creer en mí siempre dándome su cobijo para sentirme como un hijo más. Gracias por acobijarme siempre y darme su apoyo.

A mis amigos por seguir caminando a mi lado y darme su apoyo durante este tiempo.

A mi segunda casa la Facultad de Ingeniería por darme las armas necesarias para enfrentarme a la vida diaria de profesionista. Gracias a esa gran gama de profesores que tuve a lo largo de este recorrido y sobre todo a la mejor universidad del mundo la UNAM por brindarme la mejor educación en las mejores instalaciones que cualquier universitario podría tener.

A la Dra. Alejandra Castro, por su apoyo, consejos, sus grandes ganas de seguir motivándome para terminar este proyecto de titulación, pero sobre todo a su gran paciencia y su confianza en mí. Gracias Doctora.

No me puedo ir sin mencionar que esta Tesina va dedicada a una de las personas que más he amado en esta vida, a esta persona que me enseñó a disfrutar y vivir al máximo cada segundo de mi vida. Quien no importando la hora siempre estuvo para mí con un consejo y un te quiero. A ti mi niña hermosa que siempre creíste en mí y me motivaste a seguir amando la vida. Mi hermana Angélica Pérez Pigenutt eres el ángel más grande que la vida me ha dado. Q.E.P.D.

# ÍNDICE

|                         |      |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE .....            | I    |
| ÍNDICE DE FIGURAS ..... | III  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | IV   |
| NOMENCLATURA.....       | V    |
| RESUMEN .....           | VI   |
| INTRODUCCIÓN.....       | VIII |
| OBJETIVOS .....         | IX   |

## 1

### ANTECEDENTES

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Energía fotovoltaica .....                                 | 2  |
| 1.1.1 Radiación solar.....                                     | 3  |
| 1.1.2 Celda fotovoltaicas .....                                | 3  |
| 1.1.3 Celda solar de película fina .....                       | 3  |
| 1.2 Clasificación de celdas .....                              | 4  |
| 1.2.1 Celdas fotovoltaicas cristalinas .....                   | 5  |
| 1.2.2 Celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino.....      | 5  |
| 1.2.3 Celdas fotovoltaicas de silicio policristalino .....     | 5  |
| 1.3 Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos .....          | 6  |
| 1.4 Uso de la energía fotovoltaica en México .....             | 8  |
| 1.5 Uso de la energía fotovoltaica en el mundo.....            | 10 |
| 1.6 Análisis de ciclo de vida de la energía fotovoltaica ..... | 17 |
| 1.6.1 Degradación solar.....                                   | 17 |
| 1.6.2 Vida de trabajo efectiva .....                           | 17 |
| 1.6.3 Predicciones de garantía.....                            | 17 |
| 1.6.4 Otros factores .....                                     | 18 |

## 2

### FUNDAMENTO

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Componentes fotovoltaicos de un sistema autónomo .... | 20 |
| 2.2 Eficiencia y costos de la energía fotovoltaica.....   | 21 |
| 2.3 Marco legal, regulatorio y normativo.....             | 22 |
| 2.4 Proveedores a nivel nacional.....                     | 23 |
| 2.5 Análisis de mecanismos financieros de fomento .....   | 25 |
| 2.6 Descripción de posibles mecanismos.....               | 25 |

## 3

### METODOLOGÍA

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Estudio de caso.....                              | 29 |
| 3.2 Lugar de estudio de caso .....                    | 29 |
| 3.3 Programa prende la luz de México .....            | 31 |
| 3.4 Condiciones iniciales en el caso de estudio ..... | 32 |
| 3.5 Diagrama de flujo .....                           | 36 |

# 4

## RESULTADO

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 4.1      | Condiciones iniciales del caso estudio ..... | 38 |
| 4.2      | Necesidades energéticas del hogar .....      | 41 |
| 4.3      | Cálculos del sistema fotovoltaico .....      | 41 |
| 4.4      | Diseño del sistema fotovoltaico .....        | 44 |
| 4.5      | Instalación del sistema.....                 | 50 |
| 4.6      | Costo beneficio .....                        | 54 |
| 4.7      | Costo de extensión de la red eléctrica ..... | 56 |
| 4.8      | Operación del sistema.....                   | 56 |
| 4.9      | Emisores de gases efecto invernadero.....    | 61 |
| 4.10     | Análisis Financiero .....                    | 65 |
| 4.10.1   | Valor presente (VP) .....                    | 65 |
| 4.10.2   | Valor presente neto (VPN) .....              | 65 |
| 4.10.2.1 | Cálculo del valor presente neto .....        | 65 |
| 4.10.3   | Tasa interna de retorno (TIR) .....          | 69 |
| 4.10.3.1 | Cálculo de la tasa interna de retorno .....  | 69 |

# 5

## CONCLUSIONES

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| CONCLUSIONES .....               | 66 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS ..... | 68 |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Tipo de celdas fotovoltaicas.....  | 4  |
| Figura 1.2 Funcionamiento de una celda fotovoltaica .....   | 6  |
| Figura 1.3 Radiación solar en México .....  | 10 |
| Figura 1.4 Potencia acumulada en el mundo a 2010.....   | 11 |
| Figura 2.1 Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo.....   | 21 |
| Figura 3.1 Escudo del municipio de Tihuatlán .....  | 30 |
| Figura 3.2 Ubicación geográfica del municipio de Tihuatlán .....  | 30 |
| Figura 3.3 Condiciones de vida en la cual se encuentran viviendo .....                                    | 33 |
| Figura 3.4 Caminos poco accesibles .....  | 33 |
| Figura 3.5 Movilidad de una vivienda a otro .....   | 34 |
| Figura 3.6 Camino entre laderas para llegar a otra casa dentro del ejido .....                            | 34 |
| Figura 3.7 Ubicación de las viviendas dentro de la sierra de Tihuatlán .....                              | 35 |
| Figura 3.8 Diagrama de Flujo del esquema de trabajo.....  | 36 |
| Figura 4.1 En el círculo rojo es la comunidad a ser beneficiada.....                                      | 38 |
| Figura 4.2 Sistema a implementar en el proyecto <i>Prende la luz de México</i> .....                      | 49 |
| Figura 4.3 Entrega del equipo fotovoltaico .....  | 50 |
| Figura 4.4 Forma gráfica en la cual se conecta el equipo fotovoltaico .....                               | 51 |
| Figura 4.5 Plática con habitantes del <i>Ejido</i> sobre el programa <i>Prende la luz de México</i> ..... | 52 |
| Figura 4.6 Apoyo a los adultos de la comunidad para conexión de equipo .....                              | 52 |
| Figura 4.7 Instalación del equipo fotovoltaico.....   | 53 |
| Figura 4.8 Equipo fotovoltaico instalado .....  | 54 |
| Figura 4.9 Iluminación dentro de la vivienda.....   | 59 |
| Figura 4.10 Plática formativa a los jóvenes de la comunidad .....   | 60 |
| Figura 4.11 Capacitación para la instalación de los equipos.....  | 61 |
| Figura 4.12 VPN del sistema fotovoltaico a diferentes tasas .....   |    |

# ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1.1 Potencia total instalada por país .....   | 15 |
| Tabla 4.1 Daños ocasionados por gases y sustancias tóxicas .....  | 39 |
| Tabla 4.2 Censo de familias y condiciones iniciales del lugar.....  | 40 |
| Tabla 4.3 Datos proporcionados por SEDESOL del foco a utilizar .....  | 42 |
| Tabla 4.4 Resultados de la demanda de consumo eléctrico diario del módulo del panel fotovoltaico para la comunidad de Tihuatlán.....  | 44 |
| Tabla 4.5 Datos de radiación solar promedio mensual incidente sobre una superficie orientada hacia el ecuador, a diferentes grados de inclinación, ubicados en el municipio de Tihuatlán..... | 45 |
| Tabla 4.6 Resumen de las características del sistema fotovoltaico antes mencionado en la imagen.....  | 49 |
| Tabla 4.7 Especificaciones .....  |    |
| Tabla 4.8 Comparación de los costos entre los diferentes medios de iluminación.....   | 55 |
| Tabla 4.9 Coste de construcción de redes por kilómetro de línea de distribución en área natural y con postes de madera .....  | 56 |
| Tabla 4.10 Resultados de operación .....  | 56 |
| Tabla 4.11 Beneficiados e interesados en el sistema fotovoltaico por edades .....   | 57 |
| Tabla 4.12 Tiempo de vida de los componentes de un sistema.....   | 58 |
| Tabla 4.13 Emisión de gases a un año y veinte años .....  | 64 |
| Tabla 4.14 Precios promedio de electricidad, tarifa OM región Sur y porcentaje de incremento .....  | 66 |
| Tabla 4.15 Resultado del cálculo del valor presente neto del sistema fotovoltaico diseñado .....  | 67 |
| Tabla 4.16 Resultado del cálculo del valor presente neto si CFE electrificara la comunidad <i>El Ejido</i> .....  | 68 |
| Tabla 4.17 Resultados del cálculo de la TIR .....   |    |
| Tabla 4.18 Tiempo de recuperación .....   |    |

# NOMENCLATURA

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>A</b>                | Ampere, unidad de corriente   |
| <b>ANES</b>             | Asociación Nacional de Energía Solar  |
| <b>ANG OPT</b>          | El ángulo respecto a la horizontal para que la radiación solar total mensual promedio sea máxima  |
| <b>Ah</b>               | Ampere-hora   |
| <b>CA</b>               | Corriente alterna   |
| <b>CD</b>               | Corriente directa   |
| <b>CFE</b>              | Comisión Federal de Electricidad  |
| <b>GEI</b>              | Gases de Efecto Invernadero   |
| <b>K</b>                | Índice de claridad. El importe medio mensual de la incidencia total de la radiación solar sobre una superficie horizontal en la superficie de la tierra dividida por el promedio mensual de la insolación entrante tope de la atmósfera durante un determinado mes, en promedio para ese mes en el período de 22 años |
| <b>Kg</b>               | Kilo-gramo, unidad de masa  |
| <b>kW</b>               | Kilowatt, unidad de potencia igual a 1000W  |
| <b>kWh</b>              | Kilowatt-hora, unidad de energía  |
| <b>msnm</b>             | Metros sobre el nivel del mar   |
| <b>OPT</b>              | Cantidad promedio mensual del total de radiación solar incidente sobre una superficie inclinada en el ángulo óptimo respecto a la horizontal y apuntando hacia el ecuador   |
| <b>SFV</b>              | Sistema Fotovoltaico  |
| <b>SSE HRZ</b>          | Importe medio mensual de la incidencia total de la radiación solar sobre una superficie horizontal en la superficie en la tierra durante un mes determinado, en promedio para ese mes en el periodo de 22 años  |
| <b>KgCO<sub>2</sub></b> | Kilogramos de bióxido de carbono (incluye gases de efecto invernadero distintos al CO <sub>2</sub> en sus equivalentes)   |
| <b>W</b>                | Watt, unidad de potencia  |

## RESUMEN

La relevancia del proyecto, es satisfacer las necesidades básicas de energía eléctrica de comunidades aisladas, marginadas y de muy escasos recursos mediante la implementación de paneles fotovoltaicos como sistema de iluminación, a través de un sistema de fácil conexión y uso, a un bajo costo, de manera que contribuya directamente al desarrollo social y económico de la zona, dentro del municipio de Tihuatlán, ubicado en el estado de Veracruz. En esta zona se tiene una irradiación promedio de 4.83 kWh/m<sup>2</sup>día

La comunidad de Tihuatlán se encuentra en el norte del estado de Veracruz, cerca de Poza Rica en una zona montañosa con pocas vialidades terrestres, haciendo complicado el acceso a la comunidad. La comunidad de *El Ejido* está conformada por 25 familias, cuyos hogares se encuentran alejados entre sí por aproximadamente medio kilómetro. Otra característica que presenta esta comunidad es el alto grado de marginación y la falta de programas sociales que ayuden a contribuir al desarrollo del área. Uno de los problemas que presentaba la comunidad de Tihuatlán en el 2012 era la falta del suministro de luz eléctrica.

El método de iluminación que se utiliza en este tipo de comunidades es: velas o candiles de diésel. Teniendo gastos por suministro de paquetes de velas de \$1,440.00 y por litro de diésel de \$953.00, ambas en periodos de un año, que además implican largos trayectos, en caminos poco accesibles, para conseguir estas fuentes de energía. Los ingresos percibidos aproximados mensuales son de \$2,500 pesos. En términos de salud, de acuerdo con datos del World Energy Outlook, 2010 (WEO) en el mundo mueren 1.5 millones de personas por los altos índices de contaminación en sus hogares. Bajo esta línea, opciones sustentables de iluminación y electrificación como la energía solar resultan ideales para satisfacer las necesidades energéticas de este nicho de mercado.

El proyecto de iluminación que se describe en esta tesis, se realizó en la comunidad de Tihuatlán, bajo el esquema que se menciona anteriormente, beneficiando a 25 familias. Se espera que dentro de los beneficios, se tenga un mayor aprovechamiento del día de las familias, teniendo un mejor nivel de vida y de salud evitando la inhalación de los gases, emitidos por los diferentes medios de iluminación utilizados (velas y diésel), permitiendo las actividades recreativas, lúdicas y educativas de las familias, promoviendo sus valores entre cada uno de los miembros y fortaleciendo la convivencia social de la comunidad.

Las cargas a alimentar con el sistema fotovoltaico son únicamente 4 focos de tipo led, los cuales trabajan 5 horas al día, los 365 días del año. El consumo diario total de las cargas es de 61.6 Wh. Anteriormente, los habitantes de la comunidad *El Ejido* solicitaron a la compañía CFE, la interconexión al sistema eléctrica nacional, la respuesta fue que no era posible hacer dicha interconexión debido a los altos costos que esto representa, la cual llegaba a los \$186,708.67 por cada Km.

El sistema fotovoltaico que se calculó y se otorgó para el proyecto de iluminación dentro de la comunidad *El Ejido*, constó de un panel solar monocristalino de 20 W, de medidas 29.6x64.1x2.5 centímetros, una batería de 12 V a 7 Ah de medidas 181x77x125 milímetros, un controlador de carga de 3 W, con cable de 18 AWG de 5 mts, todo esto para satisfacer la demanda eléctrica de 4 focos leds de luz blanca de 3 W cada uno. El periodo de vida para el sistema fotovoltaico es de 20 años con su respectivo mantenimiento.

Las emisiones de gas efecto invernadero causadas por la generación de electricidad en México son de 0.593 CO<sub>2</sub>/MWh. Para satisfacer el consumo de electricidad de la comunidad se requieren 0.02248MWh/año cuyas emisiones al utilizar sistemas fotovoltaicos son 4.38 CO<sub>2</sub>/MWh. Si hacemos una comparación con fuentes convencionales de electricidad, como podría ser el caso de una carboeléctrica en los alrededores de la comunidad del *Ejido* para satisfacer la demanda eléctrica, veríamos que las emisiones de esta ascienden a 212. 25 CO<sub>2</sub>/MWh, lo que implica un aumento de casi 48 veces en el número de emisiones comparada con el sistema fotovoltaico instalado en dicha comunidad.

Financieramente, el sistema fotovoltaico propuesto es compatible si se compara contra los costos de la red eléctrica nacional y lo que esta implicaría llevarla a cada uno de los hogares de la comunidad *El Ejido*. En este proyecto se hizo esa comparación porque el que se instaló se encuentra muy alejado de la red eléctrica convencional de Tihuatlán proporcionada por CFE. Si se toma en cuenta que el costo de la construcción de las líneas de distribución en una zona rural es de 186 mil pesos por Km, se tiene que un sistema solar fotovoltaico aislado, con la potencia del sistema diseñado para satisfacer las necesidades energéticas es factible si se instala en una zona que se encuentra a más de 45 Km de distancia de la red eléctrica.

Se destacó que el costo de recuperación no es el más indicado para este proyecto, debido a que se tendría que acomodar para ser vendido a un precio de \$8,500.00 para una recuperación en 19 años con un valor presente neto de \$74,631.71 y con una tasa interna de retorno del 13.04%. Si tomamos en cuenta que la vida programada para el sistema solar es de 20 años, se muestra que no es viable para este caso. Por eso la importancia del subsidio de SEDESOL para desarrollar de manera exitosa el proyecto *Prende la luz de México* y el que se pueda seguir beneficiando a más familias aisladas de la red eléctrica y de escasos recursos.

Al final del proyecto se observó que la implementación de un sistema fotovoltaico, tiene ventajas considerables por el hecho de tener menos emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con una carboeléctrica. Sin embargo, es importante considerar las externalidades involucradas en la fabricación de los paneles solares, que en suma causan más emisiones de CO<sub>2</sub> que el uso de velas y diésel. Los paneles solares tienen entre sus múltiples beneficios, ser amigables con el medio ambiente y evitar que los habitantes de la comunidad contraigan enfermedades respiratorias, que son a menudo el resultado del uso de combustibles fósiles para la iluminación.

# INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la SENER, México ha sido un importante exportador de energía, principalmente en forma de petróleo crudo, desde los años setenta. De igual manera menciona que, actualmente, la producción del crudo ha ido disminuyendo, mientras que las importaciones de gas natural, gasolinas, carbón y otros productos petrolíferos están aumentando. Al respecto, indicaron que en 2008, el valor económico de las importaciones de combustibles fósiles supero el 40% del valor de las exportaciones y este porcentaje sigue aumentando. La participación de las energías renovables permitirá conservar los recursos no renovables y, por lo tanto, posponer el posible momento en el que el país se convierta en importador neto de energéticos (SENER, 2009).

A pesar de que el acceso a la energía eléctrica está vinculado con siete de los ocho objetivos de desarrollo del milenio de la ONU, en México el 2.49% de la población no cuenta con este servicio. Se estima que más de tres millones de mexicanos no tienen energía eléctrica en sus hogares y que el 85% de ellos viven en zonas rurales. La falta de este servicio limita el desarrollo y bienestar básico de las familias; además repercute en la salud de la población al contraer enfermedades respiratorias provocadas por el humo que generan los combustibles al interior de las casas. La carencia de energía eléctrica también repercute en el medio ambiente, debido a que la utilización de combustibles fósiles implica el desprendimiento de grandes cantidades de humo y CO<sub>2</sub>. (Iluméxico, 2012).

La disponibilidad de los recursos de la región en la que se localiza el sistema, juega un rol importante en el cálculo de costos de producción de energía. México es un país con una situación privilegiada que goza de una amplia variedad de recursos para generar energía solar, ya que cuenta con altos niveles de radiación solar. La irradiación solar global en México, en promedio, es de 5 kWh/m<sup>2</sup> día, sin embargo en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/m<sup>2</sup> día o más. De acuerdo con lo anterior, si se supone una eficiencia del 15%, bastaría un cuadrado de 25 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere hoy el país (SENER, 2012). De acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), hasta el año 2006, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos, instalados en México, se encontraban en instalaciones aisladas de la red eléctrica. Sin embargo a partir del año 2007 se cuentan con registros de aplicaciones conectadas a la red eléctrica (SENER, 2012).

Por su parte SENER indica que la provisión de energía solar es uno de los principales motores para el desarrollo rural, y las energías renovables son a menudo la mejor opción para proveer de servicios energéticos a comunidades rurales.

## OBJETIVO GENERAL

Aplicar sistemas fotovoltaicos autónomos para comunidades marginadas en Tihuatlán, Veracruz que se encuentran sin recursos de energía eléctrica.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la disponibilidad del recurso solar de Tihuatlán, Veracruz, en la comunidad del Ejido, para la implementación de sistemas fotovoltaicos.
- Abastecer de energía eléctrica a los habitantes de la comunidad del Ejido mediante paneles fotovoltaicos.
- Analizar las emisiones de GEI producidas en el proyecto de electrificación.
- Analizar los costos y factibilidad de contar con un panel fotovoltaico dentro de la comunidad del Ejido.



# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES



## 1.1 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamado célula solar de película fina. Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios, casas aisladas de la red eléctrica y para la producción de electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas han avanzado considerablemente en los últimos años (Bullis, 2006).

Entre los años 2001 y 2012 se ha producido un crecimiento exponencial de la producción de energía fotovoltaica, doblándose aproximadamente cada dos años. La potencia total fotovoltaica instalada en el mundo (conectada a red) ascendía a 7.6 GW en 2007, 16 GW en 2008, 23 GW en 2009, 40 GW en 2010 y 70 GW en 2011. A finales de 2012, se habían instalado en todo el mundo más de 100 GW de potencia fotovoltaica. Gracias a ello, la energía solar fotovoltaica es actualmente después de la energía hidroeléctrica y eólica, la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global.

La producción de energía eléctrica generada por la fotovoltaica a nivel mundial equivale a cerca de 110,000 millones de kWh de electricidad, suficiente para cubrir las necesidades energéticas de más de 20 millones de hogares y representa actualmente un 0.5% de la demanda mundial de electricidad.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia y logrando que su costo medio de generación eléctrica sea ya competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Programas de incentivos económicos primero y posteriormente sistemas de autoconsumo fotovoltaico y balance neto sin subsidios han apoyado la instalación de los sistemas fotovoltaicos en un gran número de países, contribuyendo a evitar la emisión de una mayor cantidad de gases de efecto invernadero.

La tasa de retorno energético de esta tecnología, por su parte, es cada vez mayor. Con la tecnología actual, los paneles fotovoltaicos recuperan la energía necesaria para su fabricación en un período comprendido entre 6 meses, 1 año ó 4 años; teniendo en cuenta que su vida útil media es superior a 30 años, producen electricidad limpia durante más del 95% de su ciclo de vida (Trebolle, 2013).

### 1.1.1 RADIACIÓN SOLAR

Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K, esto es igual a 5,726.85°C en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro el cual emite energía a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda



la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el  $W/m^2$  (Méndez, 2010).

### **1.1.2 CELDA FOTOVOLTAICA**

Una celda fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o célula fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable.

Al grupo de células fotoeléctricas para energía solar se le conoce como panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12V ó 24V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia.

### **1.1.3 CELDA SOLAR DE PELÍCULA FINA**

Una celda solar de película fina, también denominada celda fotovoltaica de película delgada, es una celda solar que se fabrica mediante el depósito de una o más capas delgadas (película delgada) de material fotovoltaico en un sustrato. El rango de espesor de esta capa es muy amplio y varía desde unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros. Muchos de los materiales fotovoltaicos se fabrican con métodos de depósito diferentes en una variedad de sustratos. Las celdas solares de película delgada suelen clasificarse según el material fotovoltaico utilizado (Martin, 2006).

## **1.2 CLASIFICACIÓN DE CELDAS**

Las celdas fotovoltaicas generalmente están compuestas por silicio tratado o dopado, de modo de cuando recibe luz solar se liberan electrones y por ende se genera electricidad.

El silicio para utilizarse en electrónica debe de tener una pureza extraordinaria, así como una estructura a escala atómica muy ordenada. En el mercado se puede encontrar silicio relativamente puro a un precio muy bajo, sin embargo este silicio no puede utilizarse como semiconductor en electrónica o como parte de un panel solar, ya que



tiene impurezas y sus átomos se encuentran desordenados, lo que hace que los electrones no se desplacen adecuadamente.

En el planeta tierra, el silicio esta por todas partes, un 27% de la corteza terrestre está hecha de silicio, pero este se encuentra unido a un sin número de elementos. El silicio no es un metal, pero si se mezcla silicio puro con cantidades muy pequeñas de otros elementos se pueden modificar sus propiedades eléctricas de forma muy precisa, lo que lo hace un material muy utilizado como semiconductor en electrónica.

Hay dos tipos de *celdas fotovoltaicas*, las cristalinas (monocristalinas o policristalinas) y las amorfas, la tecnología amorfa es comúnmente utilizada en los paneles solares pequeños, como en las calculadoras y lámparas de jardín, aunque cada vez son más usadas para paneles de mayor tamaño. Están conformadas de una película de silicón depositada sobre otra lámina de materiales como el acero. El panel se forma de una sola pieza y las celdas individuales no son tan visibles como en otro tipo de paneles. La eficiencia de los paneles solares de celdas amorfas no es tan alta como la de aquellos paneles conformados por celdas solares individuales a continuación en la Figura 1.1 muestra los diferentes tipos de celdas fotovoltaicas de los cuales la mayoría de los paneles solares están compuestos.

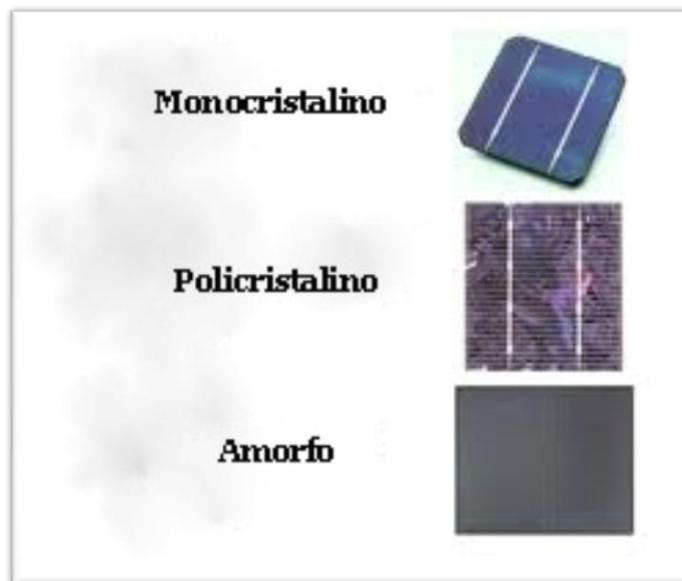


Figura 1.1 Tipo de celdas fotovoltaicas (Garza, 2012).

### 1.2.1 CELDAS FOTOVOLTAICAS CRISTALINAS

Estas se conectan en serie para producir paneles solares. Estas celdas fotovoltaicas producen entre 0.5 y 0.6 watts cada una por lo que 36 celdas fotovoltaicas son necesarias para producir una potencia de aproximadamente 20 watts; esto es suficiente para cargar una batería de 12 volts en la mayoría de condiciones. Aunque la eficiencia teórica de las celdas fotovoltaicas mono cristalinas es ligeramente mayor que



el de las celdas fotovoltaicas poli cristalinas, hay poca diferencia practica en el rendimiento. Las celdas fotovoltaicas cristalinas tienen generalmente una mayor vida útil que las de tipo amorfo.

### 1.2.2 CELDAS FOTOVOLTAICAS DE SILICIO MONOCRISTALINO

Cuando se requiere de un silicio de mayor pureza y eficiencia eléctrica, es posible entonces obtener silicio monocristalino, en el que el bloque entero de silicio es un único cristal perfecto lo que asegura que los electrones se desplacen con un poco más de libertad.

Las *celdas fotovoltaicas* de silicio monocristalino se obtienen a partir de barras largas y cilíndricas de silicio monocristalino producidas mediante procesos complejos y muy costosos, cada barra se corta en forma de obleas de medio milímetro de espesor, para su posterior uso en la fabricación de circuitos integrados. Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de alrededor 16%.

### 1.2.3 CELDAS FOTOVOLTAICAS DE SILICIO POLICRISTALINO

El silicio policristalino está conformado por pequeños cristales de una enorme pureza que hace que sus propiedades eléctricas sea muy diferente del silicio amorfo. Para que un electrón recorra una micra por un cristal ordenado es un verdadero viaje comparado con el silicio amorfo. El silicio policristalino se usa en paneles solares.

Las celdas fotovoltaicas policristalinas son más baratas, pero menos eficientes que las celdas fotovoltaicas monocristalinas, son cuadradas de modo que cubra mayor área del panel solar, sin embargo, los paneles solares con celdas policristalinas producen menos energía eléctrica que las celdas fotovoltaicas monocristalinas tomando en cuenta un panel solar del mismo tamaño. Este tipo de celdas alcanzan eficiencias de conversión de alrededor 14% (Garza, 2012).

## 1.3 FUNCIONAMIENTO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, se necesita considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas (*agujeros*) de las cargas negativas (*electrones*) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto, si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres



tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos. En la Figura 1.2 se puede ver cómo es que nuestro panel se encuentra conformado así como parte de su funcionamiento. Es en este par de imágenes donde se ve el efecto fotovoltaico provocado en una célula solar.

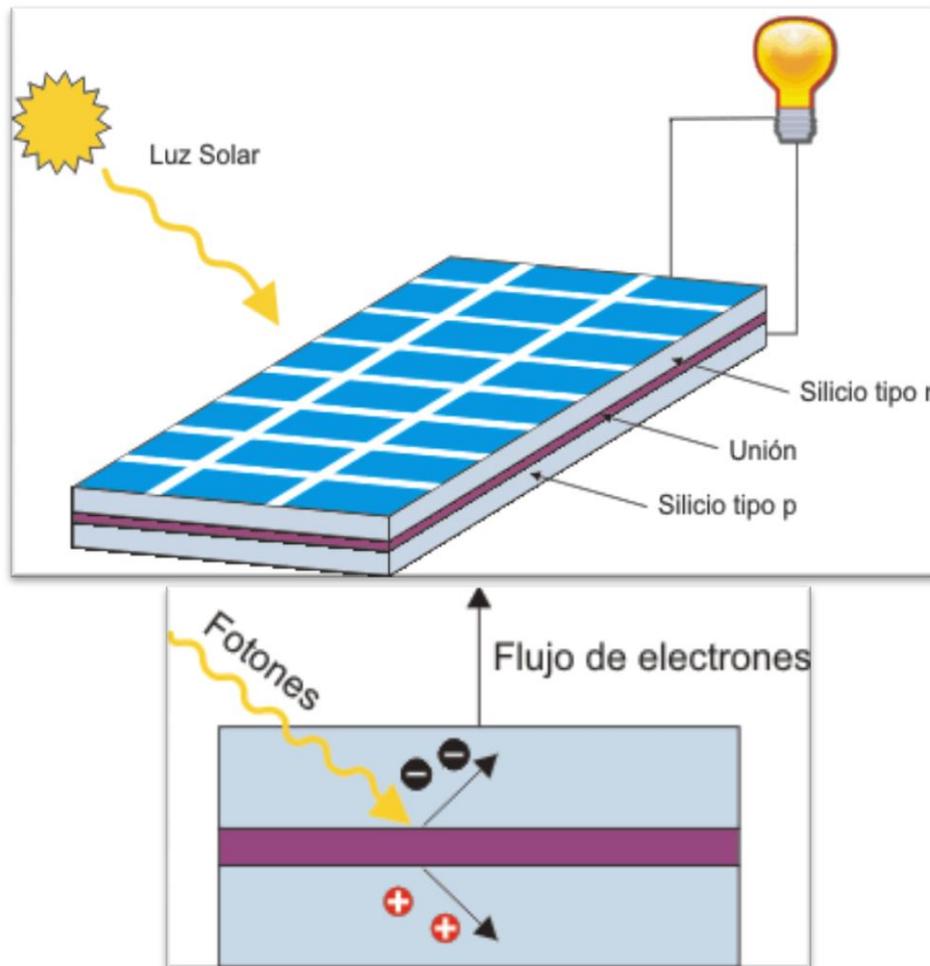


Figura 1.2 Funcionamiento de una celda fotovoltaica (TC, 2005).

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:

- El tipo y el área del material
- La intensidad de la luz del sol
- La longitud de onda de la luz del sol.

Por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino actualmente no pueden convertir más el de 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.



Las celdas solares de silicio policristalino en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%, debido a pérdidas de energía internas más altas que las del silicio monocristalino.

Una típica célula fotovoltaica de silicio monocristalino de  $100 \text{ cm}^2$  producirá cerca de 1.5 watts de energía a 0.5 volts de corriente continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el  $1,000 \text{ W/m}^2$ ). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol (por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad).

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se les clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar con bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin embargo, hay límites a este proceso debido a la complejidad de los mecanismos y de la necesidad de refrescar las celdas. La corriente es relativamente estable en altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula.

Otros tipos de materiales fotovoltaicos que tienen potencial comercial incluyen el diselenide de cobre e indio ( $\text{CuInSe}_2$ ) y telurio de cadmio ( $\text{CdTe}$ ) y silicio amorfo como materia prima (TC, 2005).

#### 1.4 USO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO

México es un país con un potencial enorme para el aprovechamiento de la energía solar. Se encuentra en lo que la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (AEIF) llama el Cinturón Solar, el cual está compuesto por 66 países ubicados entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio. México está en tercer lugar entre los países con mayor atracción de inversión en energía solar en el mundo después de China y Singapur, y por encima de Brasil, Chile y la India. No sólo por su situación geográfica con gran recurso solar, sino porque además cuenta con una buena infraestructura y condiciones políticas/financieras que permiten programas de apoyo a las energías renovables. Esto, comparado con otros países del Cinturón Solar, como por ejemplo Yemen o Angola, entre otros, que aunque cuenten con un recurso solar favorable, desafortunadamente las probabilidades de aprovechar la energía solar a gran escala son pocas.

Latinoamérica, en general, ha explotado poco el recurso solar en el pasado, comparado con el resto del mundo. Es inminente un crecimiento significativo en este sentido.



Está a punto de ver una gran revolución solar en nuestro país, así como las que se han dado recientemente en países como Alemania y España. Hasta ahora, se han instalado en México una potencia total acumulada de aproximadamente 28MW de paneles solares fotovoltaicos. Esta potencia se ha instalado mayoritariamente en lugares remotos para abastecer de energía a bombas de agua y poblaciones retiradas de la red eléctrica de la CFE. Es muy poca si la comparan con los alrededor de 40,000MW instalados mundialmente, de los cuales 17,000MW se encuentran sólo en Alemania cuyo recurso solar es muy inferior al de México. En México se cuenta entre 4.5 y 7kW/m<sup>2</sup> de radiación solar mientras en Alemania tienen entre 2.4 y 3.4kW/m<sup>2</sup>.

Pero las cosas están cambiando. Las subvenciones de las que por tanto tiempo gozaron España y Alemania están comenzando a desaparecer, y en México cada vez están surgiendo mayores oportunidades de financiamientos para la implementación de tecnología solar fotovoltaica. Son muchas las empresas, tanto mexicanas como extranjeras, que se interesan por esta tecnología por varias razones. Puede ser por imagen, por conciencia ecológica o por alguna otra razón, pero en la mayoría de los casos el obstáculo principal son los costos.

La situación de los costos también está cambiando. En el 2011, los costos de implementar tecnología solar fotovoltaica son la mitad de lo que eran hace dos años. Y van a seguir bajando hasta equivaler los costos de las tarifas de la CFE. La tarifa Doméstico Alto Consumo (DAC), por ejemplo, es superior a la mayoría de las tarifas residenciales europeas o de Estados Unidos. Y sube constantemente. En lo que va del presente año, las tarifas de la electricidad en México han subido 22%. Por esta razón es cada vez más atractivo y tiene más sentido financiero implementar estos sistemas en casas y empresas.

México es el único país latinoamericano, hasta la fecha, que cuenta con una infraestructura de fabricación de paneles solares. Y esto puede contribuir a que surjan incentivos federales dedicados específicamente al desarrollo de este mercado. Sanyo, Kyocera, Solartec, ERDM, Sunpower y Siliken son algunas de las marcas que cuentan con plantas de producción de paneles solares en territorio nacional. Y cada vez hay más empresas como SOLECO, entre otras, que se dedican exclusivamente al suministro e instalación de esta tecnología. También está creciendo el mercado nacional de este tipo de aplicaciones. Schneider Electric y L'Oréal son algunas de las empresas que ya instalaron colectores solares en la Ciudad de México.

Son varias las aplicaciones de la tecnología solar fotovoltaica que se han implementado en México. La tendencia principal es la de interacción con la red eléctrica de la CFE. De esta forma, cuando existe un excedente en la producción de energía, ésta se va a la red mediante un medidor bidireccional que hace las veces de acumulador y regresa la energía producida cuando se necesite. Es un intercambio de kWh producidos por kWh consumidos. Mediante un contrato con la CFE, al llegar el recibo de luz, se paga la diferencia entre lo que se consume y lo que se produce. Así, tanto una vivienda como una empresa pueden producir su propia energía al mismo tiempo que proporcionan sombra en sus techos o estacionamientos, reduciendo su propio consumo en aire acondicionado y aumentando la comodidad. Al estar interconectados a la red de la



CFE, se crean múltiples beneficios no sólo al dueño del equipo, sino también a la misma CFE.

La energía solar se produce cuando la demanda eléctrica está en su pico y es más costoso producirla a la CFE. Mediante la interconexión de equipos pequeños descentralizados que inyectan electricidad a la red, la CFE tiene mejores posibilidades de cumplir con la constantemente creciente demanda eléctrica de las ciudades mexicanas.

Por esto y otras muchas razones, la energía solar tiene un enorme futuro en México y muy pronto veremos más y más colectores solares produciendo energía limpia y silenciosa en nuestro entorno (Leal, 2011).

En la Figura 1.3 se muestra claramente los niveles de radiación que inciden en la República Mexicana y con esta darse cuenta que se puede proporcionar un excelente aprovechamiento a la energía solar a lo largo del territorio mexicano. Los 32 estados de la república mexicana se muestran en la Figura 1.3 comparando de mayor y menor producción anual de radiación solar global diaria sobre el plano horizontal.

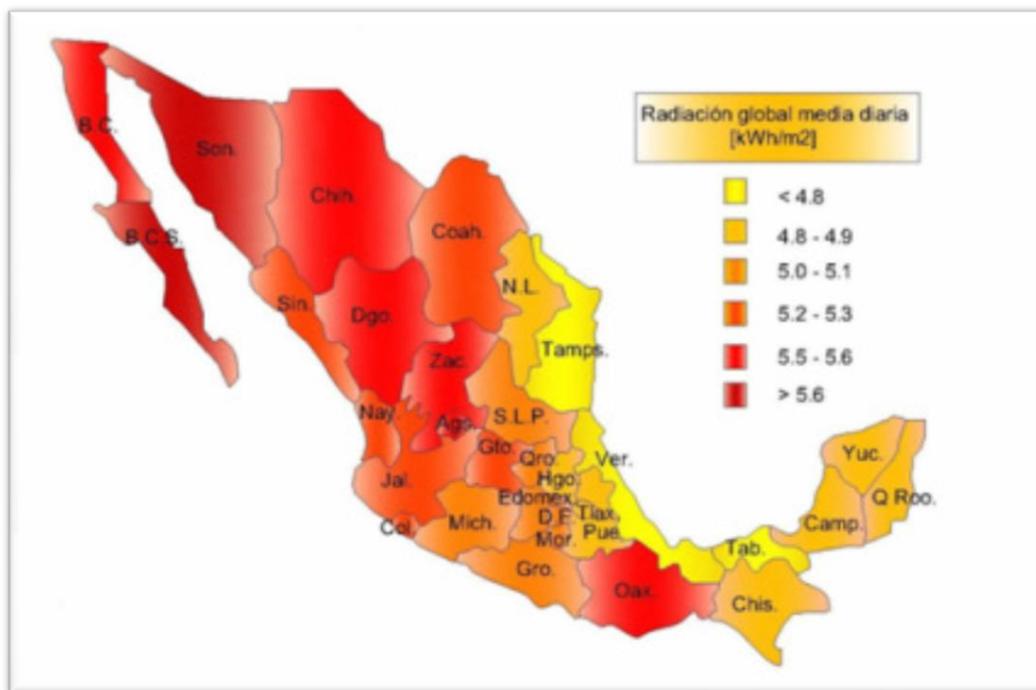


Figura 1.3 Radiación solar en México (Leal, 2011).

## 1.5 USO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan. Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países, que, como España, han propiciado un gran in-



crecimiento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología.

A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40,000 MWp según datos de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (AEIF), de los cuales cerca de 29,000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga. Las tres áreas de mayor interés en el mundo, según la potencia acumulada, son Europa (destacando Alemania y España, con más de un 52% del total mundial), Japón y EE.UU. Japón con cerca de 3,622 MW acumulados y EE.UU. con aproximadamente 2,727 MW representan el 9% y el 6.80% respectivamente de la potencia total. En el gráfico siguiente se representa el histórico de la potencia acumulada a nivel mundial en los últimos años, apreciándose claramente el crecimiento exponencial.

A corto plazo es previsible que esta distribución del mercado se mantenga, si bien hay países que empiezan a despuntar, lo cual hace suponer también que en el futuro el peso relativo de los países con más potencia no será tan preponderante como en la actualidad. Así países como Italia, que se convierte en el año 2009 en el segundo mercado mundial, con 711 MW instalados, y en el año 2010 se estiman unos 2,321 MW más. En Europa la República Checa que instaló en 2009, 411 MW y en 2010 aproximadamente unos 1,490 MW, y Bélgica 210 MW en 2010. Japón y Estados Unidos siguen manteniéndose en sus posiciones con 990 MW y 980 MW instalados respectivamente. En la Figura 1.4 se muestra la gráfica como ha sido el desempeño del mundo en cuanto a la generación de la energía solar fotovoltaica.

Los datos más relevantes de la industria solar fotovoltaica en el mundo son:

- Alemania (7,408 MW)
- Italia (2,321 MW)
- China (990 MW)
- EE.UU. (980 MW).



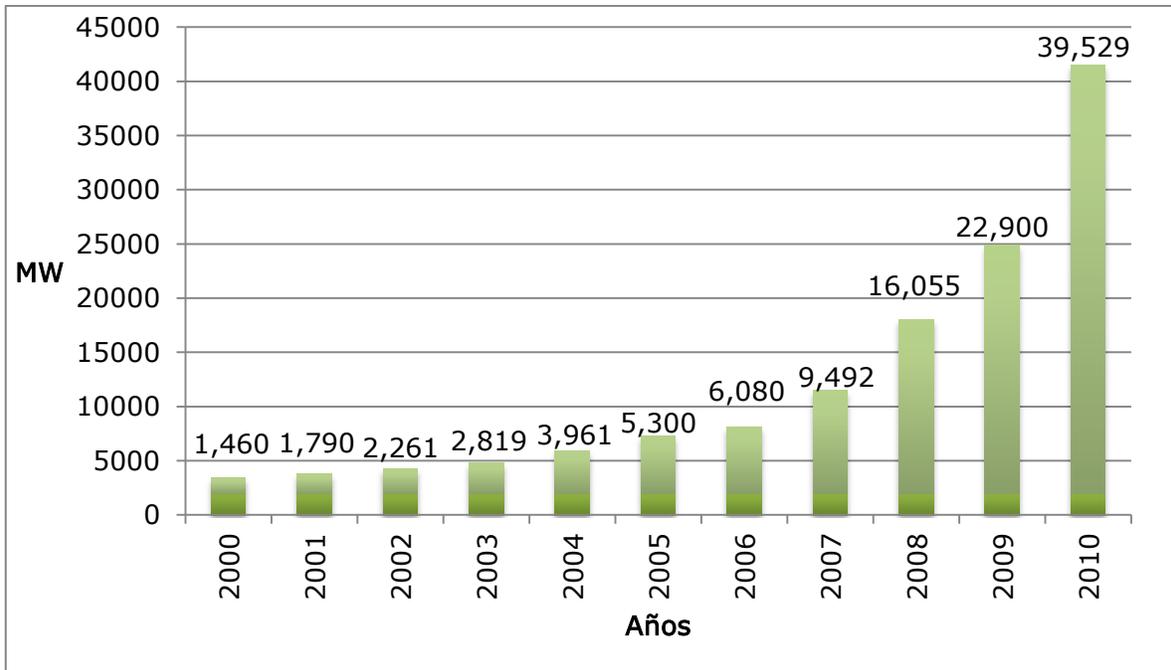


Figura 1.4 Potencia acumulada en el mundo a 2010 (Lecue, 2011).

La potencia mundial instalada en el año 2010 fue de 16,600 MW, lo que supuso un incremento del 72% de la potencia mundial acumulada con respecto al año 2009. El 79% de la potencia mundial instalada en 2010 fue en la Unión Europea, con más de 13,240 MW. Dentro de la Unión Europea el mercado alemán fue claramente el preponderante representando el 59% de todo el mercado europeo.

En 2010 se alcanzó una producción mundial de células fotovoltaicas de 27,213 MW. Los primeros fabricantes de células fotovoltaicas en el mundo han sido Suntech Power (5.8% del mercado mundial), JA Solar (5.4%), First Solar (5.2%), Trina Solar (3.9%), Q-Cells (3.7%), Yingli (3.6%), Motech (3.5%), Sharp (3.3%), Gintech (3.0%) y Kyocera (2.4%).

En el año 2010, aproximadamente el 87 % de las células se fabricaron con silicio, de las cuales con silicio monocristalino el 33.2 %, con policristalino el 52.9 %, y con amorfo el 5%; el 5.3 % con telururo de cadmio, el 1.2 % con cobre, selenio e indio (CIS), y el 2.4 % restante con otras tecnologías, según datos de la revista especializada Photon International (Lecue, 2011).

Los datos más relevantes de la industria solar fotovoltaica de los países más destacados en la actualidad son los siguientes:

### 1. Alemania

Este es uno de los líderes mundiales en la instalación de energía fotovoltaica, con una potencia instalada a finales de 2012 superior a los 32 gigawatts (GW). Sólo en 2011, Alemania instaló cerca de 7.5 GW y la fotovoltaica produjo 18 TW·h de electricidad, el 3% del total consumido en el país.



El mercado fotovoltaico en Alemania ha crecido considerablemente desde principios del siglo XXI gracias a la creación de una tarifa regulada para la producción de energía renovable, que fue introducida por la "German Renewable Energy Act", ley publicada el año 2000. Desde entonces, el coste de las instalaciones fotovoltaicas ha descendido más del 50% en 5 años, desde 2006. Alemania se ha marcado el objetivo de producir el 35% de la electricidad mediante energías renovables en 2020 y alcanzar el 100% en 2050.

En 2012, las tarifas introducidas costaban a Alemania unos 14,000 millones de euros por año, tanto para las instalaciones eólicas como solares. Este costo es repartido entre todos los contribuyentes mediante un sobrecosto de 3.6 céntimos de € por kWh (aproximadamente el 15% del costo total de la electricidad para el consumidor doméstico).

La considerable potencia instalada en Alemania ha protagonizado varios récords durante los últimos años. Durante dos días consecutivos de mayo de 2012, por ejemplo, las plantas solares fotovoltaicas instaladas en el país produjeron 22,000 MWh en la hora del mediodía, lo que equivale a la potencia de generación de 20 centrales nucleares trabajando a plena capacidad. Y estas cifras siguen creciendo: debido al incremento de la potencia fotovoltaica instalada en el país de enero a septiembre de 2012 el 6.1% de la demanda de electricidad alemana fue cubierta con energía producida por sistemas fotovoltaicos, según la Asociación Alemana de las Industrias Energéticas e Hídricas (AAIEH).

Alemania pulverizó el récord anterior el 21 de julio de 2013, con una potencia instantánea de 24 GW a mediodía. Debido al carácter altamente distribuido de la fotovoltaica alemana, aproximadamente entre 1.3 y 1.4 millones de pequeños sistemas fotovoltaicos contribuyeron a esta nueva marca.

A comienzos de verano de 2011, el Gobierno alemán anunció que el esquema actual de tarifas reguladas concluiría cuando la potencia instalada alcanzase los 52 GW. Cuando esto suceda, Alemania aplicará un nuevo esquema de tarifa de inyección cuyos detalles no se conocen todavía (SS, 2013).

## **2. Italia**

Se encuentra entre los primeros países productores de electricidad procedente de energía fotovoltaica. En diciembre de 2012, la potencia total instalada se acercaba a los 17 GW, suponiendo una producción tan importante que varias centrales de gas operan actualmente a mitad de su potencial durante el día. El sector ha llegado a proporcionar trabajo a unas 100,000 personas, especialmente en el sector del diseño e instalación de dichas plantas solares.

La energía total producida mediante fotovoltaica alcanzó en 2011 los 10,730 GWh, cerca de un 3.2% del total de la demanda de electricidad (332.3 TWh). Mientras que durante 2012, la producción fotovoltaica proporcionó el 5.6% del total de la energía consumida en el país durante el año. El crecimiento ha sido exponencial ya que la potencia instalada se triplicó en 2010 y se cuadruplicó en 2011.

La fotovoltaica en Italia ha alcanzado estas cifras gracias al programa de incentivos llamado Conto Energía. Este programa contaba con un presupuesto total de 6,700



millones de €, alcanzado dicho límite el Gobierno ha dejado de incentivar las nuevas instalaciones, al haberse alcanzado la paridad de red. Un informe publicado en 2013 por el Deutsche Bank concluía que efectivamente la paridad de red se había alcanzado en Italia y otros países del mundo.

Desde el pasado agosto de 2012 está vigente una nueva legislación que obliga a registrar todas las plantas superiores a 12 kW y las de potencia menor (fotovoltaica de tejado en residencias) están exentas de registro (Richard, 2013).

### 3. China

Es el país asiático que cuenta con unas 400 empresas fotovoltaicas, entre las que destacan Suntech y Yingli, y produce aproximadamente el 23% de los productos fotovoltaicos que se fabrican en el mundo. La energía fotovoltaica es una de las mayores industrias de la República Popular China.

La fotovoltaica se ha desarrollado espectacularmente en el país asiático en años recientes, superando incluso las previsiones iniciales. De acuerdo a los planes desvelados en 2007 por la "Comisión para la Reforma y el Desarrollo Nacional" del país, la potencia instalada en el país debía crecer hasta los 1.800 MW en 2020. En 2009, Wang Zhongying, un oficial de la Comisión, mencionó en una conferencia solar en Shanghai que este plan podía ser superado ampliamente, llegando incluso a los 10 GW en 2020. En mayo de 2011, la Asamblea Popular Nacional de China estableció 5 GW como el objetivo mínimo oficial para 2015, fijando el objetivo a largo plazo en 20-30 GW para 2020.

A finales de 2011 China dobló su potencia fotovoltaica instalada respecto al año anterior, hasta alcanzar los 2.900 MW. Este incremento en la potencia instalada se debió, principalmente, a un crecimiento en el número de instalaciones residenciales. Así mismo, la tarifa de inyección bajó hasta 0.80 yuanes por kWh, lo que significó llegar al mismo nivel de las tarifas aplicables a las plantas de carbón.

Batiendo todas las previsiones, China añadió 5 GW de energía fotovoltaica en 2012, llevando la potencia total instalada en el país hasta un total de 8.300 MW y según las previsiones puede añadir hasta 6.8 GW adicionales más en 2013, superando ampliamente la barrera de los 10 GW. De acuerdo a la Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea (AIFE), la potencia total instalada en China puede crecer hasta los 47-66 GW en 2017 (Dorn, 2013).

### 4. Estados Unidos

Es un país de considerable actividad en el mercado fotovoltaico, y cuenta con numerosas plantas de conexión a red. A mediados de 2013, Estados Unidos superó los 10 GW de potencia fotovoltaica instalada. La tendencia y el ritmo de crecimiento actuales indican que en los próximos años se construirán un gran número de plantas fotovoltaicas en el sur y suroeste del país, donde el terreno disponible es abundante, en los soleados desiertos de California, Nevada y Arizona. Las empresas están adquiriendo grandes superficies en estas zonas con la intención de construir mayores plantas a gran escala.



La mayor instalación del mundo (Agua Caliente Solar Project), con una potencia total de 247 MW, se encuentra en Yuma County, Arizona, Estados Unidos. Hay planes para construir plantas muchos mayores. En este sentido, el gobernador de California Jerry Brown ha firmado una legislación requiriendo que el 33% de la electricidad del estado se genere mediante energías renovables para finales de 2020 (Baker, 2013).

## 5. Japón

Es de los líderes en la manufactura de módulos fotovoltaicos y se encuentra entre los 5 primeros en potencia instalada, con casi 7,000 MW a finales de 2012, la mayor parte conectada a red. La irradiación en Japón es óptima, situándose entre 4.3 y 4.8 kWh/m<sup>2</sup>·día, convirtiéndolo en un país idóneo para el desarrollo de este tipo de energía. La energía fotovoltaica en Japón, se ha expandido rápidamente desde la década de 1990.

La venta de módulos fotovoltaicos para proyectos comerciales ha crecido rápidamente tras la introducción por parte del Gobierno japonés en julio de 2012 de una tarifa para el incentivo de la fotovoltaica tras el accidente nuclear de Fukushima. Más de 1,072 MW de módulos fotovoltaicos se han vendido durante el primer semestre del 2012, según se desprende de los datos de la Asociación Japonesa de Energía Fotovoltaica (AJEF).

La mayoría de ese volumen (738 MW), procede de fabricantes locales, entre los que destacan Kyocera, Sharp Corporation, Mitsubishi o Sanyo, mientras que 335 MW fueron importados. Tradicionalmente el mercado fotovoltaico ha estado muy desplazado al segmento residencial, copando hasta el 97% de la capacidad instalada en todo el país hasta 2012. Aunque esta tendencia se está invirtiendo, todavía más del 75% de las células y módulos vendidos en Japón a principios de 2012 tuvieron como destino proyectos residenciales, mientras que cerca del 9% se emplearon en instalaciones fotovoltaicas comerciales. La potencia total fotovoltaica instalada en Japón superó los 10 GW en agosto de 2013, excediendo los 10.5 GW a finales de ese mes (Fontaine, 2013).

En el resto de los países, como indica en la Tabla 1.1 se muestra el detalle de la potencia mundial instalada, desglosada por cada país. En dicha tabla se muestra de una manera más clara como ha sido el crecimiento de los países en cuanto a su desarrollo energético fotovoltaico. De esta manera se puede ver año tras año el avance que hay de los países y observar como hay países que han ido subiendo poco a poco y quien han dado saltos grandes en cuanto a este desarrollo energético.



Tabla 1.1 Potencia total instalada por país (Lecue, 2011).

| POTENCIAL (MWp) |          |         |         |        |        |        |
|-----------------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|
| PAÍS            | 2007     | 2008    | 2009    | 2010   | 2011   | 2012   |
| Unión Europea   | 5.20     | 10.50   | 16.30   | 29.30  | 51.30  | 68.10  |
| Alemania        | 3835.50  | 5.30    | 9.90    | 17.30  | 24.80  | 32.60  |
| Italia          | 120.20   | 458.30  | 1.10    | 3.50   | 12.70  | 16.20  |
| China           | -        | -       | -       | 893.00 | 3.00   | 8.30   |
| Estados Unidos  | 830.50   | 1168.50 | 1255.70 | 2.50   | 4.30   | 7.30   |
| Japón           | 1,918.90 | 2.10    | 2.60    | 3.60   | 4.90   | 6.90   |
| España          | 693.00   | 3.20    | 3.40    | 3.80   | 4.20   | 4.50   |
| Francia         | 75.20    | 179.70  | 335.20  | 1.00   | 2.80   | 3.60   |
| Bélgica         | -        | -       | 574.00  | 803.00 | 2.00   | 2.60   |
| Australia       | 82.50    | 104.50  | 183.60  | 504.00 | 1.20   | 2.40   |
| Republica Checa | -        | -       | 463.30  | 1.90   | 1.90   | 2.00   |
| Reino Unido     | 18.10    | 22.50   | 29.60   | 72.00  | 1.00   | 2.00   |
| Grecia          | -        | -       | 55.00   | 206.00 | 631.00 | 1.50   |
| India           | -        | -       | -       | 189.00 | 461.00 | 1.10   |
| Corea del Sur   | 81.20    | 357.50  | 441.90  | 662.00 | 754.00 | 1.00   |
| Bulgaria        | -        | -       | 5.70    | 18.00  | 133.00 | 908.00 |
| Canadá          | 25.80    | 32.70   | 94.60   | 200.00 | 563.00 | 827.00 |
| Eslovaquia      | -        | -       | 0.20    | 145.00 | 488.00 | 523.00 |
| Austria         | 27.70    | 32.40   | 52.60   | 103.00 | 176.00 | 422.00 |
| Suiza           | 36.20    | 47.90   | 73.60   | 111.00 | 216.00 | 410.00 |
| Dinamarca       | 3.10     | 3.30    | 4.60    | 7.10   | 17.00  | 392.00 |
| Israel          | 1.80     | 3.00    | 24.50   | 66.00  | 196.00 | 250.00 |
| Holanda         | 52.80    | 57.20   | 67.50   | 97.00  | 118.00 | 256.00 |
| Portugal        | 17.90    | 68.00   | 102.20  | 131.00 | 144.00 | 212.00 |
| México          | 20.80    | 21.80   | 25.00   | 31.00  | 37.00  | 52.00  |
| Malasia         | 7.00     | 9.00    | 11.00   | 13.00  | 14.00  | 36.00  |
| Suecia          | 6.20     | 7.90    | 9.00    | 11.00  | 16.00  | 24.00  |



## 1.6 ANALISIS DE CICLO DE VIDA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Cuando se aprovecha la energía solar no se genera contaminación directa por sustancias de los colectores o de las células fotovoltaicas, pero los sistemas colectores contienen a menudo sustancias para la transmisión térmica que pueden producir contaminaciones si acceden al medio ambiente. Los paneles pueden generar molestias óptico-estéticas, esto se resuelve a través de una integración a su ambiente; las reflexiones molestas disminuyen si se elimina el espejado u opacando los elementos.

En el caso de establecimientos grandes con aprovechamiento intensivo de la superficie, no es posible aplicar estas soluciones, excepto la disminución de las reflexiones. Por lo tanto, pueden presentarse conflictos relacionados con exigencias visuales-estéticas así como con otras potencialidades naturales relacionadas con la tierra (suelos para producción agropecuaria, protección de especies y biotopos) siempre que no se trate de emplazamientos en zonas desérticas. La sombra y la modificación del albedo generados por las grandes instalaciones pueden, según las condiciones locales, ejercer impactos tanto sobre el microclima (tasas de evaporación, movimiento del viento, temperatura) como sobre la flora y fauna.

Otros impactos ambientales se producen durante la fabricación de los materiales que se utilizan para los colectores y células solares. La fabricación del acero, cobre y aluminio que a menudo se utilizan como materia prima, genera problemas ambientales por emisiones, por ejemplo, de polvos y compuestos fluorados y produce no sólo gran contaminación a raíz de los desechos y efluentes que se originan, sino también una gran demanda energética, especialmente en el caso del aluminio.

Para las celdas solares se utilizan en parte metales raros y tóxicos (cadmio, arsénico, selenio, galio) que ya durante su procesamiento pueden conducir a problemas aunque pequeños (contaminación de las aguas residuales y emisiones de aire contaminado). En estos casos se trata de sustancias químicamente muy estables. El riesgo ambiental se limita a las instalaciones donde se produce. Mediante el control y medidas preventivas de seguridad, es posible minimizar el riesgo (Gómez, 2010).

### 1.6.1 DEGRADACIÓN SOLAR

Los paneles solares pierden eficiencia al ser usados. La radiación ultravioleta de los rayos solares separa uniones moleculares en el silicón utilizado en las celdas, provocándoles que funcionen con menor eficiencia. Por ello, una celda solar que ha permanecido almacenada por 30 años será más productiva en energía que otra que haya estado produciendo electricidad por la misma cantidad de tiempo. La pérdida efectiva anual de una celda solar funcionando está estimada en el 0.5 %.

### 1.6.2 VIDA DE TRABAJO Y EFECTIVA

La vida actual de funcionamiento de un panel solar, definido como la vida útil en tiempo durante la cual un panel solar es capaz de producir electricidad, tiende a ser muy



larga. Muchas estimaciones la consideran como la mitad de un siglo y más. La vida útil efectiva, definida por la longitud de tiempo en que el panel solar puede razonablemente esperarse a que funcione antes de convertirse económicamente en razonable para reemplazarla, es mucho más corto: Cerca de 25 años.

### **1.6.3 PREDICCIONES DE GARANTÍA**

La vida útil comúnmente efectiva y aceptada de 25 años viene con la garantía ofrecida por los fabricantes. La garantía contempla que el panel solar no disminuirá su eficiencia debajo del 80 % dentro de los primeros 25 años. La proporción actual de degradación solar coloca al 80 % de eficiencia sobre los 40 años en la vida del panel solar, haciendo de los 25 años de garantía una apuesta razonablemente segura.

### **1.6.4 OTROS FACTORES**

Mientras que la actual celda solar es bastante durable, una potencia solar también depende en el cableado extensivo e inversores de potencia para producir electricidad utilizable. La falla de cualquiera de estos componentes puede paralizar un panel solar, requiriendo reparaciones costosas y un desgaste de energía y emisiones. Además, muchos cálculos sobre la vida útil no consideran otras fuentes ambientales de daño, como el granizo y los vientos. Dependiendo del lugar, la vida útil efectiva de un panel solar podría verse afectada por daños relacionados con el clima antes de considerar comprometida su eficiencia (Garay, 2013).



# CAPÍTULO 2

## FUNDAMENTO



## 2.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

En este tipo de sistemas no es necesario que sean conectados a la red eléctrica, ya que solo se produce la energía necesaria para su consumo. En los sistemas autónomos se pueden dividir en dos bloques que son:

- Aplicaciones espaciales: sirven para proporcionar energía eléctrica a elementos colocados por el ser humano en el espacio, tales como son los satélites de comunicación, la estación internacional espacial.
- Aplicaciones terrestres: son estas las que se tratan en esta tesis ya que es a donde está enfocado el tema. En las que cabe destacar:

- *Telecomunicaciones*: telefonía a nivel rural y de ciudad, vía radio, etc.

- *Alumbrado público*: se utiliza en zonas donde se complica el llevar una línea eléctrica convencional.

- *Electrificación de zonas rurales así como de ciudad y aislados*: estas instalaciones, que se pueden realizar en cualquier lugar, están pensadas para países y regiones en desarrollo y todas aquellas zonas en donde no existe acceso a la red eléctrica convencional o en el caso de la ciudad fomentar el ahorro de energía mediante sistemas amigables, para los sistemas aislados como refugios de montaña.

En el caso de los sistemas fotovoltaicos autónomos están conformados por los siguientes componentes los cuales en otro capítulo se abordara con más detalle. Los elementos de una instalación solar fotovoltaica son:

1. *Célula fotovoltaica*: es el elemento más primordial de la instalación. Convierte la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua). Está formado por la unión de paneles, para dotar a la instalación de la potencia necesaria.
2. *Regulador de carga*: nexo de unión entre las celulares fotovoltaicas y los elementos de consumo de la instalación. Se encarga también de proteger los acumuladores de sobrecargas y proporciona a su salida la tensión continua para la instalación. Fija el valor de la tensión nominal a la que trabaja la instalación.
3. *Batería*: se presenta en instalaciones autónomas. Proporciona energía a la instalación durante los periodos sin luz solar o sin suficiente luminosidad. Acumula energía para la instalación.
4. *Inversor*: Convierte la corriente continua del sistema en corriente alterna, a 220 V de valor eficaz y frecuencia de 50 Hz, igual a la de la red eléctrica. Alimenta los aparatos que trabajan con corriente alterna (MGH, 2013).



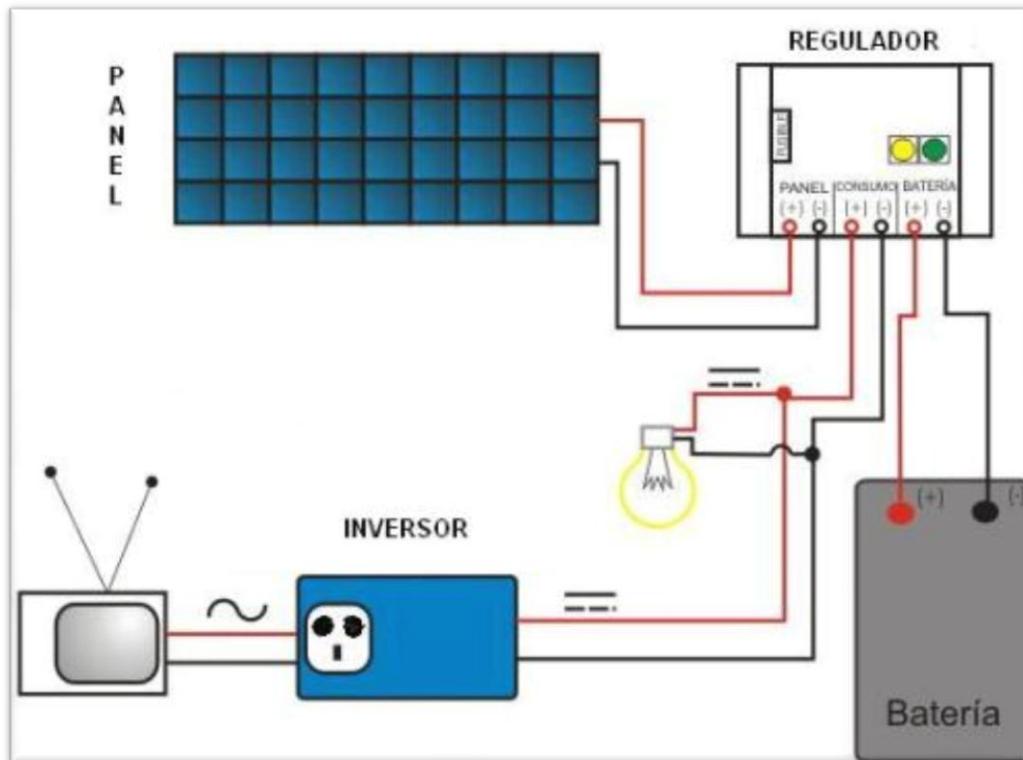


Figura 2.1 Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo (Moreno, 2012).

## 2.2 EFICIENCIA Y COSTOS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Eficiencia energética se define como: la capacidad que tiene el elemento para realizar su tarea. La eficiencia de un sistema de energía solar fotovoltaica cada vez es mayor así como la disminución de su costo, todo esto debido a los avances tecnológicos y a la economía de escala. En realidad, la generación de energía a través de celdas fotovoltaicas ya es competitiva con las fuentes convencionales de energía. Con la tecnología actual, el retorno de inversión ronda entre los 4 a 5 años sin tomar en cuenta los subsidios y beneficios fiscales; cabe mencionar que la vida útil de un sistema es aproximadamente 20 años.

La eficiencia de las células varían entre un 6% estas son las que son basadas en silicio amorfo y llegan hasta el 44% cuando son basadas en una célula llamada multiunión. Las eficiencias en los módulos fotovoltaicos comerciales, basados en silicio monocristalino o policristalino, se encuentran entre el rango de 14 - 22%. El costo de las células solares de silicio cristalino se ha reducido desde 76.67 \$/Wp en un inicio en 1977 hasta un aproximado de 0.74 \$/Wp en el 2013. Esto se debe a que los precios de los módulos solares descienden aproximadamente un 20% cada vez que se duplica la capacidad de la industria.



En el caso de México solo se puede hablar de un autoconsumo fotovoltaico, el retorno de la inversión se calcula en base a cuanto electricidad se deja consumir de la red, gracias a la instalación de paneles solares fotovoltaicos. Por ejemplo, en México una casa que están dentro de la tarifa DAC, donde el precio es aproximadamente de 3.5 pesos/kWh y se implementa una instalación fotovoltaica de 5,026 kWp, la casa se puede ahorrar aproximadamente \$21,576.00 pesos anuales, tomando en cuenta un precio de instalación de 2.5 USD/kWp, el sistema solar se puede amortizar en menos de 5 años.

La tendencia económica demuestra que los precios disminuirán aún más, cuando los componentes fotovoltaicos hayan entrado a una fase industrial. En una instalación solar fotovoltaica, la eficiencia se puede observar en el tamaño de instalación, es decir se requieren más paneles solares para poder lograr la potencia requerida (Neuman, 2013).

Los costos de la energía fotovoltaica hoy en día se puede decir que son competitivos ante la industria encargada de su difusión. El problema es que no está muy claro donde están asignados los subsidios, por lo que habrá que reevaluar las tarifas. Los costos de la energía fotovoltaica en México ya son competitivos frente a las fuentes convencionales de electricidad, pero el problema es que no está muy claro donde están asignados los subsidios. Esto afecta a la competitividad, porque es injusto hacer una comparación entre estas dos fuentes, pues previamente sería necesario conocer los costos reales de ambas.

México necesita políticas claras que fortalezcan a sus empresas, el involucramiento del sistema financiero en los proyectos que están en puerta a nivel mundial y un reajuste de sus tarifas.

El país cuenta con recursos naturales renovables, tecnología, contratos de interconexión para fuente de energía (Net metering), un sistema funcional que controla el suministro de energía, pero que solamente falta una regulación de las tarifas (García, 2012).

### 2.3 MARCO LEGAL, REGULATORIO Y NORMATIVO

Actualmente los siguientes instrumentos legales y regulatorios permiten el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en conexión a la red:

1. *Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y su reglamento.* A finales del 2008 se publicó esta ley en el diario oficial de la federación, la cual tiene como propósito regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad "con fines distintos a la prestación del servicio público". Su reglamento fue publicado en el diario oficial de la federación del 2 de septiembre de 2009, incluyendo aspectos más específicos para la remuneración de proyectos de energías renovables.



2. *Contrato de Interconexión para Fuentes de Energías Renovables o Sistema de Cogeneración en Pequeña y Media Escala.* El 8 de abril de 2010, la Comisión Regulatoria de Energía (CRE), publicó estos modelos de contrato en el diario oficial de la federación, y tienen como propósito establecer los derechos y obligaciones de un usuario que interconecta una fuente de energía renovable. Estos contratos de interconexión se basa en el principio de "medición neta". De esta forma cuando el usuario inyecta energía, el medidor de luz gira en sentido inverso. Al final del periodo de facturación, este último paga solo por su consumo neto el cual resulta del total de energía eléctrica consumida menos el total de energía eléctrica generada por la fuente de energía renovable.
3. *Contrato de Interconexión para Fuente colectiva de Energía Renovable o Sistema Colectivo de Cogeneración en Pequeña Escala.* A este tipo de contrato aplica todo lo relacionado a generación de pequeña escala descrita en el párrafo anterior. Con la característica de que la fuente colectiva de generación de energía eléctrica les pertenezca les pertenece a un grupo de generadores. Además la energía eléctrica generada por la fuente colectiva es dividida, para efectos de facturación entre los dueños dependiendo del porcentaje en la inversión realizada por cada uno de los dueños.

Puesto que los sistemas fotovoltaicos pueden disminuir o dejar de generar electricidad de forma repentina, por ejemplo, en días parcialmente nublados, es necesario también establecer una serie de reglas técnicas que eviten molestias o daños a otros usuarios. Por ello, la Comisión Regulatoria de Energía y la Comisión Federal de Electricidad han desarrollado un marco normativo específico por la interconexión de tecnologías basadas en fuentes renovables, como los sistemas fotovoltaicos (Valle, 2012).

#### **2.4 PROVEDORES A NIVEL NACIONAL.**

En este capítulo se mencionan empresas las cuales hoy en día, se encuentran trabajando en la República Mexicana, se mostrará la empresa, así como algunos de los objetivos que éstas manejan. Esto con la intención de ver el interés que hay hoy en día, porque cada vez más familias y empresas se inclinan más por el ahorro energético mediante paneles fotovoltaicos:

1. **ILUMEXICO:** es una empresa social que promueve el desarrollo social participativo a través de programas para brindar acceso a la electricidad con energía solar en comunidades marginadas de México que no cuentan con él. Promueven el desarrollo a través de sistemas solares fotovoltaicos unifamiliares, es decir, sistemas autónomos que se colocan en cada casa mediante 4 pilares de innovación y sustentabilidad que son:
  - Modelos de distribución y servicio innovadores
  - Desarrollo de tecnología mexicana
  - Modelos de participación comunitaria
  - Esquemas de micro pagos



2. SUNERGY: ha sido el proveedor de sistemas fotovoltaicos de uso general y soluciones energéticas de mayor prestigio en la región norte central de México por más de 20 años. Se especializa en diseño, suministro e instalación de sistemas fotovoltaicos para iluminación, consumo eléctrico y bombeo de agua para uso humano y ganadero; así como sistemas eólicos de generación eléctrica y soluciones de refrigeración rural.
3. SOLARTRONIC: empresa la cual contribuye al bienestar de la gente mediante la comercialización confiable de energías sustentables (energía solar, calentadores solares, colectores solares, termo-tanques, productos solares, instalación solar, eólico, etc.)
4. SCA SOLAR: ofrece soluciones de ahorro energético con diferentes productos que además de beneficiar el bolsillo del cliente, ayudan al medio ambiente. Su principal producto son los calentadores solares con diversas aplicaciones:
  - Residencial
  - Alberca
  - Industrial
  - Alta Temperatura
5. KANNADAS SOLAR: cuenta con más de 10 años de experiencia con soluciones inteligentes que aprovechan las tecnologías de energías renovables y más de 20 años de experiencia en la implementación de estrategias de sustentabilidad empresariales. Ha entregado una gran variedad de proyectos con energías renovables en múltiples lugares de la República Mexicana. Cuenta con especialistas en diseño y gestión para proyectos grandes o pequeños termo-solares, fotovoltaicos, eólicos, biogás, uso de LEDs, tratamiento de agua o las combinaciones posibles.
6. E2 ENERGÍAS: profesionales con más de 10 años de experiencia con capacitación internacional en análisis, dimensionamiento y desarrollo de proyectos de energía renovable y eficiencia energética. Entre diversos logros, la CFE les otorgó en el 2008 un reconocimiento por haber interconectado el primer sistema fotovoltaico con la red (MR, 2014).

México hoy en día se encuentra en un buen nivel en cuanto al desarrollo de la energía fotovoltaica, debido a que también hay productores nacionales de los sistemas fotovoltaicos, tecnología 100% mexicana y son los siguientes.

1. CONERMEX: es una empresa integradora de soluciones en energías renovables. *Fabrican* sistemas y componentes de *energía solar*. Diseñan desde pequeños sistemas para aplicaciones aisladas hasta proyectos para aplicaciones industriales de gran escala.



2. ERDM SOLAR: es un desarrollador líder y productor de módulos fotovoltaicos en México. Ofreciendo la mejor calidad al mejor precio del mercado, asegurando inversiones a largo plazo de sus equipos.
3. EVOLUO: Fabrican e integran así como comercializan luminarias solares, y sistemas de interconexión a red, cuentan con socios comerciales en México y Estados Unidos; gracias a esto pueden ser una empresa líder en el ramo. También desarrollan proyectos para necesidades específicas, siendo estos únicos e irrepetibles, para así ofrecer la mejor solución en beneficio, utilizando componentes de la más alta calidad y ofreciendo garantías sobre los productos y servicios instalados.
4. SOLARTEC: es una empresa dedicada a ofrecer soluciones de energías renovables mediante la fabricación de paneles fotovoltaicos y ofreciendo productos con la más alta tecnología, manteniendo siempre una excelente calidad en el servicio a sus clientes y una relación estrecha de mutua cooperación con sus proveedores. En cinco años ha sido una empresa integrada completamente que genera productos de energías limpias que además permitan obtener un óptimo retorno sobre la inversión aplicada (DF, 2014).

## 2.5 ANÁLISIS DE MECANISMOS FINANCIEROS DE FOMENTO

Uno de los mayores obstáculos o barreras que presenta la tecnología fotovoltaica es la alta inversión inicial comparada con otras tecnologías. Si a esto se agrega el esquema de subsidios que disfrutaban la mayoría de las tarifas eléctricas en este país, es prácticamente imposible que el mercado, por sí mismo, pueda generar las condiciones que permitan explotar este potencial. Por lo mismo, durante la etapa de diseño de este programa de fomento se han realizado diversos estudios para identificar posibles mecanismos financieros de fomento que aunque en un principio se enfocaron en el "rango alto" del sector residencial, por el volumen de mercado que representa este nicho; resultan útiles para el análisis de distintos sectores.

## 2.6 DESCRIPCIÓN DE POSIBLES MECANISMOS

A continuación se describen los posibles mecanismos financieros de fomento identificados:

1. Financiamiento hipotecario: mecanismos financieros de este tipo incorporan el costo de los sistemas fotovoltaicos en el costo total de la vivienda, el cual se ve reflejado en el financiamiento hipotecario. El nicho principalmente impulsado a través de estos mecanismos es la vivienda nueva.
  - Crédito hipotecario: esta opción de financiamiento está diseñada en función de la oferta que tiene el mercado de créditos hipotecarios y no contempla la asignación de recursos por parte del Estado.



- Crédito hipotecario con subsidio: tiene la estructura de la opción anterior con la adición de un subsidio por parte del Estado, el cual se otorga a todos los hogares que tengan un crédito hipotecario y que elijan la instalación de un sistema fotovoltaico (para cubrir su demanda total o parcial de energía eléctrica).
2. Financiamiento no-hipotecario a través de la banca de desarrollo: mecanismos financieros de este tipo se basan en la adquisición del sistema fotovoltaico por parte de los hogares con créditos provenientes de la banca de desarrollo.
- Crédito a tasas preferenciales: esta alternativa plantea la construcción de una línea de crédito manejada por la Banca de Desarrollo, con un intermediario para el otorgamiento de créditos a los hogares interesados en participar. El mecanismo debe ofrecer una tasa de interés preferencial con respecto a las ofertadas por la Banca Comercial y puede ofrecer mejores condiciones como son mayores plazos.
  - Crédito a tasas preferenciales con fondo de garantía: este mecanismo prevé la construcción de un fondo de garantía con el objetivo de reducir el riesgo que conlleva cualquier esquema crediticio (de incumplimiento o no pago). La cobertura del mecanismo incluye las pérdidas esperadas y no esperadas, así como la aportación de fondos de contragarantía que reduzcan o mitiguen el riesgo incurrido, por este mecanismo se debe pagar una comisión, prima o precio por la aportación de fondos contra la garantía. A través de estos fondos, se respalda la instrumentación de tasas preferenciales, asegurando a los intermediarios ante el riesgo de incumplimiento de pago por parte de una proporción de acreditados que reciban el apoyo financiero.
  - Crédito a tasas preferenciales con subsidio: además de ofrecer tasas preferenciales esta opción otorga subsidios para la inversión que realiza el propietario de la vivienda.
  - Crédito a tasas preferenciales con subsidio y con fondo de garantía: este mecanismo, en su primer componente es igual al anterior, en el sentido de tener tasas preferenciales y subsidio pero adicionalmente prevé la construcción de un fondo de garantía.
3. Subsidios directos e indirectos: este grupo de mecanismos prevé la creación de un fondo que permita financiar parcial o totalmente la inversión de sistemas FV. Se tienen detectados cinco esquemas, dependiendo si los recursos son distribuidos vía la demanda o vía la oferta.



- Subsidio a los compradores: en este mecanismo se asigna de manera directa un apoyo financiero a los compradores. El apoyo puede ser de varios tipos, por ejemplo un monto fijo al hogar que instale un sistema FV con un mínimo de capacidad o un monto fijo por cada unidad de capacidad que se instale.
- Subsidio a los vendedores: este mecanismo asigna de manera directa el apoyo a los vendedores de los sistemas FV. Al igual que en el anterior, el subsidio puede tener las diferentes modalidades descritas.
- Subsidio a la inversión en capacidad de producción del sistema FV: una opción adicional es incentivar a los fabricantes vía un subsidio directo o indirecto a la inversión para que los productores incrementen su capacidad de producción de sistemas FV.
- Exención de impuestos a personas físicas: este es un mecanismo se enfoca a los compradores. La diferencia radica en cuando el consumidor recibe el apoyo. En este caso, el subsidio lo recibe al momento de realizar su declaración y pago de impuestos. Donde quien haya comprado un sistema FV tiene derecho a deducir en su pago de impuesto un monto preestablecido. Bajo este esquema, el contribuyente tiene una reducción en su pago de impuestos (Impuesto Sobre la Renta -ISR- e Impuesto al Valor Agregado IVA).
- Eliminación/reducción del pago de predial: este es un mecanismo que también dirige el apoyo a los compradores. Se centra en aquellas ciudades con un buen padrón de contribuyentes y que estén dispuestas a sacrificar parte de sus ingresos presentes (LAERFTE, 2008).



# CAPÍTULO 3

## METODOLOGÍA



### 3.1 ESTUDIO DE CASO

El estudio de caso a realizar será referente al trabajo de campo comunitario realizado en la sierra de Veracruz dentro del municipio de Tihuatlán con personas de muy escasos recursos, con el programa de *Prende la luz de México* implementada por Ilum México AC.

### 3.2 LUGAR DE ESTUDIO DE CASO

Tihuatlán es un municipio ubicado en el estado mexicano de Veracruz, perteneciente a la región de la Huasteca Veracruzana, al oriente de la República Mexicana. Limita al norte con los municipios de Temapache y Tuxpan, al este con los municipios de Cazonnes, Poza Rica y Papantla, al oeste con el municipio de Castillo de Teayo y el estado de Puebla. La cabecera homónima, es una localidad de 12,765 habitantes.

De acuerdo con el II Censo de Población y Vivienda INEGI 2005, la población total del municipio es de 80,923 habitantes, algunas de sus localidades más importantes se encuentran conurbadas con la mancha urbana de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, formando parte de la zona metropolitana de esta ciudad vecina.

#### Escudo

Un cuadrado de piel como se muestra en la Figura 3.1, se observa cómo es que se encuentra dividido en cuatro secciones y un círculo al centro. En la parte superior, una cinta ancha, doblada en tres partes, con las palabras: TEO CIUA TLAN.

Debajo de dicha cinta, en medio, un cuerno vaciando naranjas. En la Parte inferior una cinta donde aparece con letras mayúsculas, el nombre TIHUATLÁN.

Al lado izquierdo aparece una torre de petróleo; al lado derecho una planta de maíz con espiga; en el círculo central, la figura de una vaca vista de frente.

En la sección superior izquierda, se encuentra una pirámide parecida a la de Castillo de Teayo con una palmera en cada lado; en la sección superior derecha, una palmera y una planta de plátano con un racimo con su botella; en la sección inferior izquierda, aparece un escudo prehispánico circular, con plumas en la parte inferior y una greca en el centro como una espiral cuadrada. Unos pequeños triángulos en la parte alta; en la sección inferior derecha, se ve una iglesia con su campanario y una cruz en la parte superior, así como se muestra en la Figura 3.1





Figura 3.1 Escudo del municipio de Tihuatlán (CONAGUA, 2005).

### Geografía

Se encuentra ubicado en la zona norte del estado en las coordenadas  $18^{\circ} 27'$  latitud norte y  $96^{\circ} 21'$  longitud oeste a una altura de 60 metros sobre el nivel del mar. Tal y como se puede observar en la Figura 3.2 limita al norte con Castillo de Teayo, Temapache y Tuxpan, al este con Papantla, Poza Rica y Cazonas, al sur con Coatzintla y al suroeste con el estado de Puebla, tal y como se muestra en la figura dicha ubicación. Su distancia aproximada al noroeste de la capital del Estado, por carretera es de 316 km.

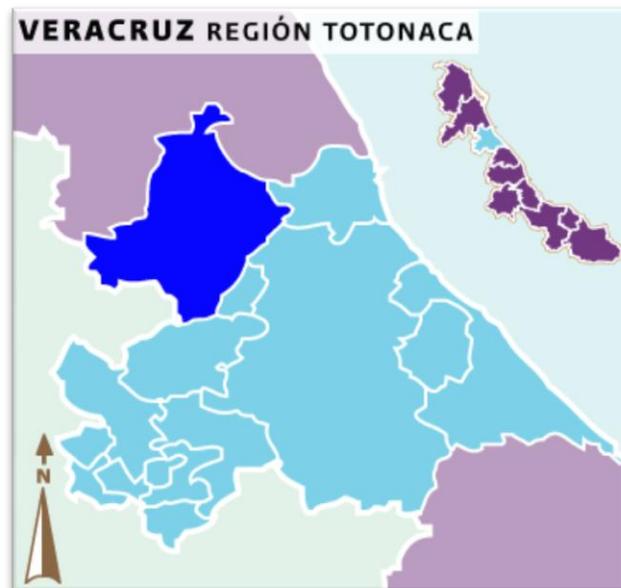


Figura 3.2 Ubicación geográfica del municipio de Tihuatlán (CONAGUA, 2005).



## Recursos naturales

Son el forestal, agrícola, ganadero y yacimientos de petróleo Su suelo es de tipo regozol y vertisol que se caracterizan por tener una capa superficial oscura y rica en nutrientes, y se encuentra distribuido en su totalidad por 70,011.07 hectáreas de las cuales el 70% es agrícola, el 20% es para el uso pecuario y el 10% es para el uso urbano.

## Clima

Su clima es cálido-regular, con una temperatura media anual de 22 °C; lluvias abundantes en verano y principios de otoño.

## Hidrografía

Su precipitación pluvial media anual es de 1.076 mm. Se encuentra regado por los ríos Cazones y Tontepec, que desembocan en el golfo de México, también está regado por el arroyo de la bomba (Gutiérrez, 2014).

### 3.3 PRENDE LA LUZ DE MÉXICO

El proyecto *Prende la luz de México* proviene de Iluméxico AC. Es una empresa social mexicana que provee productos y servicios de tecnología solar a comunidades urbanas y rurales en México. Ofrecen soluciones eficientes y sustentables que satisfacen la demanda energética de las viviendas.

La misión de este proyecto fue:

Promover el desarrollo comunitario y el ahorro energético a través de la electrificación con tecnología fotovoltaica mexicana en comunidades marginadas: rurales y urbanas de México.

La visión de este proyecto fue:

Ser la empresa social de electrificación rural con sistemas no convencionales más importante en México y Latinoamérica, reconocida por estar siempre a la vanguardia en la tecnología implementada, por su modelo de inserción social y por la accesibilidad que ofrece para sus productos.

Los objetivos de la empresa fueron:

- Respalda la metodología de electrificación rural comunitaria con organismos nacionales e internacionales.
- Validar la metodología de medición de resultados por organismos internacionales.
- Replicar el modelo Iluméxico a nivel nacional.



Los beneficios de este programa fue impactar en la tasa de adaptación tecnológica (uso y mantenimiento). Genera un sentido de pertenencia por la participación del beneficiario, involucrar a las personas de la comunidad en el desarrollo del proyecto, así como la evaluación de impacto social y ambiental en línea con los objetivos de desarrollo del milenio de la ONU.

Se sigue un modelo de microcréditos los cuales generan un valor de pertenencia, también se realiza la transferencia de tecnología que incentiva la participación comunitaria mediante los siguientes factores:

- Diagnóstico comunitario
- Sensibilización y asamblea comunitaria
- Capacitación e Instalación
- Talleres de fortalecimiento.

### 3.4 CONDICIONES INICIALES EN EL CASO DE ESTUDIO

La comunidad dentro del municipio de Tihuatlán que se consideró para ser parte del proyecto fue elegida debido al alto grado de pobreza en la cual se encuentran sus habitantes por estar internados en la sierra de dicha comunidad. Al estar la población tan alejada de la cabecera municipal, son limitados de muchos programas de beneficencia social por el difícil acceso y los grandes traslados que estos representan. Así para ingresar a esta comunidad es necesario caminar varios kilómetros, si bien los caminos en los cuales podrían trasladarse en automóviles se ven limitado por el tipo de terracería así como por barrancos que separan a la comunidad del poco camino que hay.

Al arribar al municipio de Tihuatlán se obtuvo buena respuesta por parte del ayuntamiento. El cual, mediante un grupo de personas encargadas de la parte social, se interesaron por hacer junto con el equipo de Iluméxico AC. Un estudio de caso en la cual sin fines de lucro se mostraran las necesidades que la comunidad desearía cubrir Así para realizar este proyecto no solo se llevo el beneficio de la iluminación eléctrica a través de un panel solar, si no que ésta a su vez se aportaran resultados para trabajar con talleres sobre nuevas técnicas de trabajo. El principal objetivo de Iluméxico AC, fue el de reducir el consumo de fuentes de iluminación a base de combustibles fósiles y fomentar la utilización de fuentes alternativas de energía en comunidades aisladas. Pues al usar estos combustibles dañan y deterioran la calidad de vida de las personas así como de nuestro medio ambiente (Ham, 2012).

En las Figuras 3.3 a la 3.7 se muestran imágenes en la cuales se exponen las condiciones iniciales de estas personas, dando un claro ejemplo de lo aislados que se encuentra y el difícil camino entre laderas para llegar a otra vivienda dentro del ejido. Así como la falta de luz que debido a las condiciones de terreno y distancias es imposible el desarrollo de líneas de transmisión para la Comisión Federal de Electricidad (CFE) llevar este recurso.





Figura 3.3 Condiciones de vida en la cual se encuentran viviendo (Illuméxico, 2012).



Figura 3.4 Caminos poco accesibles (Illuméxico, 2012).





Figura 3.5 Movilidad de una vivienda a otro (Iluméxico, 2012).



Figura 3.6 Camino entre laderas para llegar a otra casa dentro del ejido (Iluméxico, 2012).





Figura 3.7 Ubicación de las viviendas dentro de la sierra de Tihuatlán (Iluméxico, 2012).



### 3.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

En la Figura 3.6 se ejemplifica el método de trabajo que se siguió para el trabajo dentro de la comunidad de Tihuatlán, en el cual se lograron excelentes resultados.

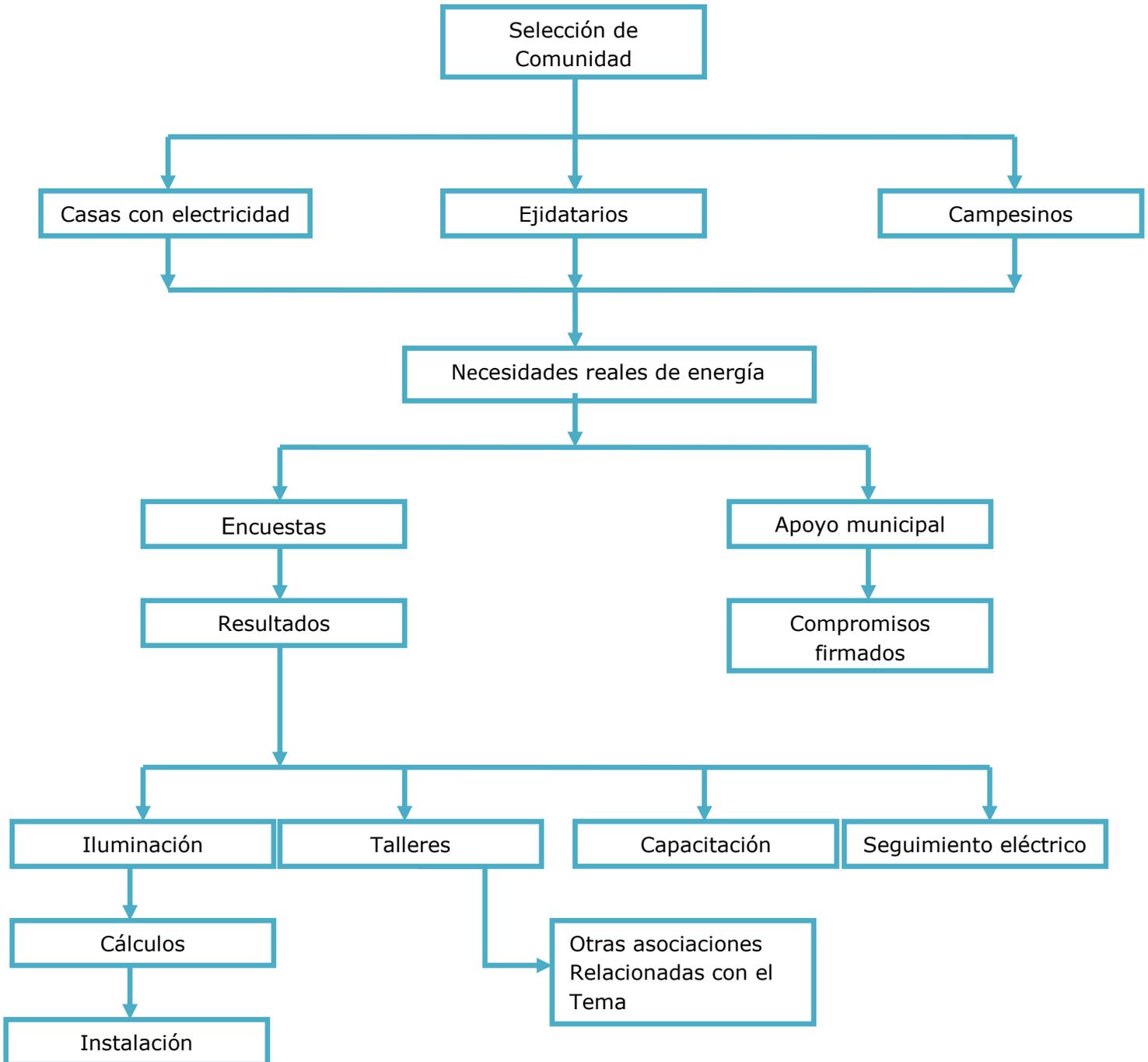


Figura 3.8 Diagrama de Flujo del esquema de trabajo.



# CAPÍTULO 4

## RESULTADOS



#### 4.1 CONDICIONES INICIALES DEL CASO DE ESTUDIO

Una vez seleccionado el municipio de Tihuatlán se prosiguió con ayuda del ayuntamiento a identificar aquellas personas las cuales contaban con suministro de energía eléctrica proporcionado por CFE, así como aquellas personas que contaban con el capital económico para invertir en algún tipo de medio que les proporcionara energía eléctrica para sus rancherías alejadas de la red eléctrica. Es aquí donde se llegó a la comunidad del *Ejido* dentro del municipio de Tihuatlán los cuales no cuentan con el servicio de la red eléctrica por parte de CFE, debido a que se encuentran alejados de la zona centro y el difícil acceso hace caro llevar este suministro.

Una vez localizada la comunidad se logró hacer un recorrido con el cual se observó las condiciones en las que se encontraban, siendo casas de madera en los cuales no contaban con más de dos cuartos en los cuales cada uno era de aproximadamente de 3m<sup>2</sup>. En estos cuartos se encontraba el lugar donde cocinaban y en el siguiente cuarto donde dormía la familia, la mayoría integrada entre 4 y 5 personas. Se resaltó la falta de energía eléctrica misma que los pobladores hacían énfasis en que sería de mucha ayuda entrar a un proyecto en el cual se vieran beneficiados con la iluminación de los hogares. Se mencionó que sería de ayuda debido a que sus actividades diarias se ven afectadas ya que solo cuentan con la luz natural que el día les otorga, principalmente los niños que solo tenían hasta las 18:00hrs para terminar sus tareas de la escuela. En la Figura 4.1 se destaca la comunidad de Tihuatlán, ubicada en el estado de Veracruz y colindante al sur con Poza Rica y al norte con Tuxpan, en un círculo rojo se hace notar la zona donde se encuentra la comunidad *El Ejido* en la cual se hizo el proyecto de iluminación, tal como se ve en la Figura 4.1 esta considerablemente alejado del centro de Tihuatlán.

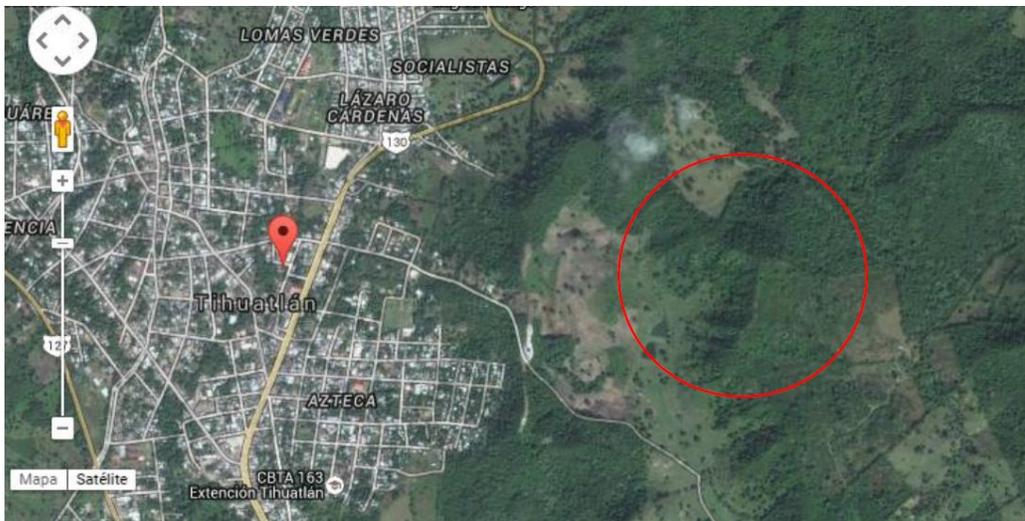


Figura 4.1 En el círculo rojo es la comunidad a ser beneficiada (SENER, 2012 b).



Aunque después se alumbraran con velas y diésel esto implicaba un gasto mensual aproximadamente de \$80.00 a \$120.00 pesos por familia, el cual al finalizar el año era de considerar para sus bolsillos, así también problemas de salud que presentaban al inhalar los gases que emitían dichos métodos de iluminación, cabe mencionar que muchas de estas personas presentaban algún problema en sus ojos debido al acercamiento con lo incandescente de la vela o diésel por lo mismo que estos no alumbran del todo bien a pesar de ser espacios pequeños. En la tabla 4.1 se da una idea sobre los riesgos a la salud provocados por algunos gases tóxicos inhalados incluyendo el diésel o el fuego de las velas que es el caso de la comunidad de Tihuatlán.

Tabla 4.1 Daños ocasionados por gases y sustancias tóxicas (PI, 2012).

| Clase de sustancia tóxica   | Tóxico              | Fuente  | Hallazgos clínicos  | Tratamiento  |
|-----------------------------|---------------------|---|---|--|
| <b>Asfixiantes simples</b>  | Propano             | Gas casero  | Todos desplazan al aire normal y disminuyen la respiración. Teniendo síntomas de hipoxemia sin irritación de vías respiratorias                   | Retire al paciente de la fuente; administre oxígeno                        |
|                             | Metano              | Gas casero  |   |  |
|                             | Bióxido de carbono  | Todos los fuegos  |   |  |
|                             | Gases inertes       | Industria (diésel)  |   |  |
| <b>Asfixiantes químicos</b> | Monóxido de carbono | Fuegos  | Inhibe transporte de oxígeno. Cierre de vías respiratorias  | Oxígeno a 100%   |
|                             | Acido hidrocianico  | Industria; plásticos quemados, mobiliario, tejidos                              | Asfixiante celular muy tóxico   | Use antídoto contra cianuro  |
| <b>Irritantes</b>           | Gas de cloro        | Industria; sustancias para piscinas, blanqueador mezclado con ácido en el hogar | Inicio temprano de lagrimeo, ardor faríngeo, estridor, traqueobronquitis en la exposición intensa puede progresar a edema pulmonar en 2 a 6 horas | Oxígeno humidificado, broncodilatadores, tratamiento de vías respiratorias |
|                             | Acido clorhídrico   |   |   |  |
|                             | Amoniaco            |   |   |  |

Una vez realizado el recorrido para conocer las necesidades reales de energía requerida, se inicio la descripción particular del caso de estudio de la comunidad del *Ejido* con la finalidad de que el programa no sólo incluyera las necesidades energéticas mencionadas, sino que también abarcara necesidades de infraestructura básicas o de implementación de talleres alternativos, en temas como: educación, proyectos productivos y finanzas, que coadyuvaran en su conjunto al desarrollo local. De la informa-



ción obtenida, Iluméxico AC, determinaría para etapas posteriores, los talleres específicos a implementar en la comunidad.

Durante esta primera intervención, se llevó a cabo además una capacitación a los pobladores para que conocieran las ventajas de sus equipos, cómo hacer uso eficiente de los mismos; y acciones de mantenimiento preventivo, de manera que problemas simples pudieran solucionarse por ellos mismos, sin necesidad de la intervención externa de Iluméxico. En la Tabla 4.2 se detalla un censo que describe las condiciones iniciales en las que se encontraban las 25 familias que conforman la comunidad de *El Ejido*.

Tabla 4.2 Censo de familias y condiciones iniciales del lugar (Iluméxico, 2012).

| Condiciones del lugar        |                        |                          |                 |                 |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| Comunidad<br>El <i>Ejido</i> | Núm. De<br>Integrantes | Método de<br>Iluminación | Agua<br>Potable | Tipo de<br>Baño |
| Familia 1                    | 4                      | Diésel                   | No              | Seco            |
| Familia 2                    | 4                      | Velas                    | No              | Letrina         |
| Familia 3                    | 4                      | Velas                    | No              | Letrina         |
| Familia 4                    | 6                      | Diésel y Velas           | No              | Letrina         |
| Familia 5                    | 3                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 6                    | 2                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 7                    | 5                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 8                    | 3                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 9                    | 5                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 10                   | 4                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 11                   | 6                      | Velas                    | No              | Letrina         |
| Familia 12                   | 5                      | Diésel y Velas           | No              | Seco            |
| Familia 13                   | 3                      | Diésel                   | No              | Seco            |
| Familia 14                   | 3                      | Diésel y Velas           | No              | Letrina         |
| Familia 15                   | 5                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 16                   | 2                      | Diésel                   | No              | Letrina         |
| Familia 17                   | 4                      | Diésel y Velas           | No              | Letrina         |
| Familia 18                   | 1                      | Diésel y Velas           | No              | Letrina         |
| Familia 19                   | 5                      | Diésel y Velas           | No              | Letrina         |
| Familia 20                   | 6                      | Velas                    | No              | Letrina         |
| Familia 21                   | 5                      | Velas                    | No              | Letrina         |
| Familia 22                   | 2                      | Velas                    | No              | Letrina         |
| Familia 23                   | 5                      | Diésel y Velas           | No              | Letrina         |
| Familia 24                   | 3                      | Velas                    | No              | Seco            |
| Familia 25                   | 7                      | Diésel                   | No              | Letrina         |



## 4.2 NECESIDADES ENERGÉTICAS DEL HOGAR

De acuerdo a las características según los estudios realizados con anterioridad de la comunidad el *Ejido* se hizo la propuesta por parte del equipo de Iluméxico AC. Que fueran no más de 4 focos los cuales alumbraran los hogares, debido a que la mayoría de las casas solo contaban con dos cuartos y el panel a utilizar sería de pocos watts. El plan principal era tener alumbrados sus cuartos y así no tener que depender de cierta hora para culminar sus actividades, se pensó también en el hecho de tener alumbrada la entrada de sus casas y en algunos casos el lugar donde tenían gallinas o algún otro tipo de animal. Con el propósito de beneficiar lo más que se pudiera a esta comunidad del *Ejido*.

Se tomó la decisión de cobrar una serie de pagos durante ocho meses proporcional a los \$80.00 que las personas pagaban por el consumo de sus antiguos combustibles para iluminación, con la finalidad de fomentar en ellos un sentimiento de pertenecía y no vendieran sus equipos al primer postor, así como la creación de un fondo para la impartición de los talleres en pro de la comunidad el *Ejido*. El tiempo de iluminación después de que anocheciera sería de 5 horas, más adelante se explica cómo se obtuvieron estos resultados (Iluméxico, 2012).

## 4.3 CÁLCULOS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Los datos del consumo eléctrico del módulo fotovoltaico para el proyecto *Prende la luz de México*, se calcularon a partir de las especificaciones de potencia eléctrica de los equipos que se pretendía alimentar. En este caso solo fueron los focos debido a la necesidad principal de iluminación que esta comunidad necesitaba como primer etapa. Se hizo el cálculo de la tensión nominal a usar para dichos focos mediante la siguiente ecuación:

$$P = V \cdot I \cdot f \quad (4 - 1)$$

Donde:

$P$ : Potencia Eléctrica de los Focos [ $W$ ]

$V$ : Tensión Nominal del Equipo [ $V$ ]

$I$ : Corriente Nominal de los Focos [ $A$ ]

$f$ : Factor de potencia

Para el cálculo de la demanda energética, se partió tomando en cuenta que solo se usaran cuatro focos de 3  $W$ , de la marca *LimiLed*, debido que fueron los seleccionados para participar en el proyecto *Prende la luz de México*, esta selección fue llevada a cabo por institución gubernamental SEDESOL quien dio el subsidio para llevar a cabo el proyecto de electrificación en la comunidad *El Ejido*, cabe mencionar que esta selec-



ción de la marca de foco fue ajena a Iluméxico. Por políticas gubernamentales, solo se hicieron llegar las características relevantes del foco, para comenzar los cálculos tal y como se muestra en la Tabla 4.3 que da una breve descripción del foco y sus componentes que se eligió para ser desarrollado dentro del panel fotovoltaico.

Tabla 4.3 Datos proporcionados por SEDESOL del foco a utilizar (SEDESOL, 2012)

|   |   |
|---|---|
|   | <b>Foco LED de la marca LimiLed, foco de iluminación LED para interiores.</b> |
|   | Tiene un ángulo de iluminación de 220°, en forma de campana.                  |
|   | Voltaje nominal de 220 volts.   |
|   | Corriente nominal de .020 amperios.   |
| <b>Foco LED de 3 Watts, marca LimiLed</b> | Factor de potencia de .70.  |
|   | Produce una luz cálida con un total de 170 y 190 lúmenes respectivamente.     |
|   | Sus medidas son 50 mm de ancho por 56 mm de alto.                             |
|   | Consume únicamente 3 watts equivalente a un foco de luz blanca de 25 watts.   |

Sustituyendo los valores en la ecuación (4 - 1):

$$P = 220 V \cdot 0.020 A \cdot 0.70 = 3.08 [W]$$

La estimación de la demanda de energía también se sacó, ya con esto se determina lo que se pretende alimentar y las horas de funcionamiento diarios. El consumo diario se calcula multiplicando la potencia eléctrica de los equipos por las horas de funcionamiento diarios:

$$E_d = P \cdot T \quad (4 - 2)$$

Donde:

$E_d$  : Consumo diario  $\left[ \frac{Wh}{día} \right]$

$P$  : Potencia eléctrica del equipo  $[W]$ .

$T$  : Horas de uso diario del equipo  $\left[ \frac{h}{día} \right]$

Sustituyendo los valores en la ecuación (4 - 2):

$$E_d = 3.08 W \cdot 7 \frac{h}{día} = 21.56 \frac{Wh}{día}$$



Para cada mes se estima el consumo diario para lo que se tienen los siguientes pasos:

- Realizar un inventario de los focos que existen, indicando su potencia y el tiempo de utilización diario estimado para cada uno de ellos.
- Una vez establecidos los consumos diarios de los focos, se calcula el total de sus corrientes.

El consumo total diario vendrá dado por la suma del consumo diario de todos los equipos, para este caso únicamente de los focos mediante la siguiente fórmula:

$$E = \sum E_d \quad (4 - 3)$$

Donde:

$E$  : Consumo diario total  $\left[ \frac{Wh}{día} \right]$

$E_d$  : Consumo diario total de cada equipo

Una vez calculado el consumo diario total, se procede al cálculo mensual, teniendo en cuenta los días de utilización al mes, con la siguiente fórmula.

$$E_m = E \cdot N_d \quad (4 - 4)$$

Donde:

$E_m$  : Consumo total mensual  $\left[ \frac{Wh}{mes} \right]$

$E$  : Consumo diario total  $\left[ \frac{Wh}{día} \right]$

$N_d$  : Número de días de funcionamiento del equipo a lo largo de un mes  $\left[ \frac{días}{mes} \right]$

Para obtener el consumo de energía anual  $E_a$  se suman los consumos mensuales de todo el año. La carga es constante ya que los cuatro focos se utilizan por 7 horas del día, los 365 días del año. Con las horas de uso y la potencia calculada con la ecuación (4 - 1) para los focos, se realizó la ecuación (4 - 2) para el cálculo de la demanda energética diaria. El consumo diario se sumó como indica la fórmula (4 - 3) y se obtuvo la demanda de energía eléctrica diaria total. En la Tabla 4.4 se muestra en resumen sobre el cálculo del consumo eléctrico diario total por casa de la comunidad de Tihuatlán.



Tabla 4.4 Resultados de la demanda de consumo eléctrico diario del módulo del panel fotovoltaico para la comunidad de Tihuatlán (Illuméxico, 2012).

| Cantidad                    | Equipo      | Tensión<br>V | Corriente<br>A | FP  | Potencia<br>W | Horas de<br>uso<br>h | Consumo<br>Wh/día |
|-----------------------------|-------------|--------------|----------------|-----|---------------|----------------------|-------------------|
| 4                           | Foco<br>Led | 220          | 0.02           | 0.7 | 12.32         | 5                    | 61.6              |
| Consumo diario total Wh/día |             |              |                |     | 12.32         | 5                    | 61.6              |

Una vez calculado el consumo eléctrico diario total, se procedió al cálculo mensual, teniendo en cuenta los días de utilización al mes, utilizando la fórmula (4 - 4). En este caso, como la demanda es igual para todos los días, para calcular el consumo anual simplemente se multiplicó el consumo diario total calculado anteriormente, por 365.

$$E_a = E \cdot 365 \quad (4 - 5)$$

Donde:

$E_a$  : Energía anual que demanda la carga  $\left[ \frac{kWh}{año} \right]$

$E$  : Consumo diario total  $\left[ \frac{kWh}{día} \right]$

Sustituyendo la ecuación (4 - 5):

$$E_a = 0.0616 \frac{kWh}{día} \cdot 365 = 22.48 \frac{kWh}{año}$$

#### 4.4 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

La evaluación del recurso solar es muy importante para el diseño del sistema fotovoltaico, ya que la generación del sistema dependerá de cuanta irradiación se tenga en la zona en la que se pretende instalar el sistema. Para obtener estos datos, con las coordenadas de ubicación, para el municipio de Tihuatlán 18° 27' de latitud norte y 96° 21' de longitud oeste, se buscaron los niveles promedio mensuales de irradiación solar en la página del Centro de Datos de Ciencia Atmosférica de la NASA. Dichos datos se muestran en la Tabla 4.5 El siguiente paso fue determinar la inclinación y orientación de la superficie receptora donde se ubicaran los módulos fotovoltaicos. Los módulos estarán ubicados al Sur para que durante el día el panel capte la mayor cantidad de radiación posible. En la Tabla 4.5 se pueden observar datos de radiación solar a diferentes inclinaciones, en este caso se eligió la inclinación a 20° ya que es el mejor ángulo que se indica en la Tabla 4.5.



Tabla 4.5 Datos de radiación solar promedio mensual incidente sobre una superficie orientada hacia el ecuador, a diferentes grados de inclinación, ubicados en el municipio de Tihuatlán (NASA ASDC, 2012).

| kWh/m <sup>2</sup> día    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Lat. 18.27<br>Lon. -96.21 | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  | Prom. Anual |
| <b>SSE HRZ</b>            | 3.34 | 3.99 | 4.74 | 5.36 | 5.77 | 5.42 | 5.27 | 5.26 | 4.56 | 4.24 | 3.78 | 3.3  | 4.58        |
| <b>K</b>                  | 0.44 | 0.46 | 0.48 | 0.5  | 0.52 | 0.49 | 0.48 | 0.49 | 0.45 | 0.47 | 0.49 | 0.46 | 0.48        |
| <b>Difusa</b>             | 1.50 | 1.73 | 2.01 | 2.24 | 2.35 | 2.42 | 2.42 | 2.30 | 2.12 | 1.81 | 1.52 | 1.40 | 1.99        |
| <b>Directa</b>            | 3.40 | 3.76 | 4.14 | 4.50 | 4.88 | 4.30 | 4.07 | 4.23 | 3.61 | 3.92 | 4.06 | 3.62 | 4.04        |
| <b>β=0°</b>               | 3.31 | 3.96 | 4.68 | 5.26 | 5.74 | 5.39 | 5.24 | 5.15 | 4.49 | 4.20 | 3.75 | 3.19 | 4.53        |
| <b>β=5°</b>               | 3.47 | 4.09 | 4.77 | 5.28 | 5.69 | 5.43 | 5.27 | 5.15 | 4.55 | 4.32 | 3.93 | 3.36 | 4.61        |
| <b>β=20°</b>              | 3.84 | 4.36 | 4.88 | 5.18 | 5.36 | 5.38 | 5.19 | 4.98 | 4.57 | 4.55 | 4.34 | 3.74 | 4.70        |
| <b>β=35°</b>              | 4.01 | 4.43 | 4.76 | 4.83 | 4.78 | 5.08 | 4.88 | 4.58 | 4.37 | 4.56 | 4.53 | 3.94 | 4.56        |
| <b>β=90°</b>              | 3.01 | 2.93 | 2.62 | 2.06 | 1.77 | 2.35 | 2.20 | 1.85 | 2.23 | 2.86 | 3.32 | 3.00 | 2.51        |
| <b>Opt</b>                | 4.03 | 4.43 | 4.88 | 5.28 | 5.74 | 5.44 | 5.27 | 5.15 | 4.58 | 4.58 | 4.55 | 3.97 | 4.83        |
| <b>Ang Opt</b>            | 41.0 | 32.0 | 20.0 | 6.0  | 0.0  | 9.0  | 8.0  | 2.0  | 14.0 | 28.0 | 40.0 | 42.0 | 20.10       |

En la tabla 4.5, el significado de los términos son los siguientes:

**SSE HRZ:** Importe medio mensual de la incidencia total de la radiación solar sobre una superficie horizontal en la superficie de la tierra durante un mes determinado, en promedio para ese mes en el período de 22 años.

**K:** Índice de claridad, donde el importe medio mensual de la incidencia total de la radiación solar, sobre una superficie horizontal en la superficie de la tierra, divide por el promedio mensual de la insolación entrante tope de la atmósfera durante un determinado mes, en promedio para ese mes en el período de 22 años.

**Difusa:** Es la radiación que es recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor.

**Directa:** Es la radiación que proviene directamente del sol.

**β:** Ángulo para la optima colocación del panel fotovoltaico.

**Opt:** Cantidad promedio mensual del total de radiación solar incidente sobre una superficie inclinada en el ángulo óptimo respecto a la horizontal y apuntado hacia el ecuador.



**Ang Opt:** El ángulo respecto a la horizontal para que la radiación solar total mensual promedio sea máxima.

Para calcular la potencia del generador se utilizó el valor de la irradiación mínima mensual para asegurar que, hasta en el mes más crítico, el sistema alimentará adecuadamente la carga. De la Tabla 4.2 se obtuvo que a 20° de inclinación, el nivel menor de irradiación es en el mes de diciembre con 3.74 kWh/m<sup>2</sup>día. Se consideró un rendimiento medio del sistema de 0.8. Sustituyendo los valores anteriores y el consumo diario total de la Tabla 4.1 en la siguiente ecuación:

$$P_{FV} = \frac{E}{n_{sis} R_g} \quad (4 - 6)$$

Donde:

$P_{FV}$  : Potencia del generador fotovoltaico [kW]

$E$  : Consumo diario total  $\left[ \frac{kWh}{día} \right]$

$n_{sis}$  : Rendimiento medio del sistema (aproximadamente 0.8)

$R_g$  : Valor promedio mensual de la irradiación diaria sobre el módulo fotovoltaico con un ángulo de inclinación  $\beta$   $\left[ \frac{kWh}{m^2 día} \right]$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación (4 - 6)

$$P_{FV} = \frac{0.061 \frac{kWh}{día}}{0.8 \cdot 3.74 \frac{kWh}{m^2 día}} = 0.02038 kW$$

La potencia del sistema fotovoltaico a diseñar es de 0.02038 kW. Para el diseño de este sistema se eligió un módulo de silicio policristalino de 20W. Para calcular el número total de módulos fotovoltaicos que se necesitan para el sistema de 0.02038 kW se requiere de la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{P_{FV}}{P_{STC,mód}} \quad (4 - 7)$$

Donde:

$N_T$  : Número total de módulos fotovoltaicos



$P_{FV}$  : Potencia del generador fotovoltaico [W]

$P_{SCT,mód}$  : Potencia máxima del módulo fotovoltaico en condiciones SCT, [ $W_p$ ]

Este número del módulo será un número no entero, por lo que el resultado inicial se deberá redondear al entero menor o superior dependiendo del caso, como por ejemplo si el resultado fuera 1.4 se redondea a 1 y si este fuera 1.5 se redondea a 2.

Se sustituyen los valores requeridos para saber el número de módulos a utilizar en este proyecto en la ecuación (4 - 7):

$$N_T = \frac{20.38 W}{20 W} = 1.019 = 1 \text{ módulo fotovoltaico}$$

Una vez obtenido el número de módulos a utilizar, se continúa con el cálculo del acumulador para satisfacer a necesidad de carga del sistema. Se necesita sacar la corriente  $I$  mediante la siguiente ecuación.

$$I = \frac{P}{V} \quad (4 - 8)$$

Donde:

$I$  : Corriente de la batería [A]

$P$  : Potencia total de los focos [W]

$V$  : Voltaje del panel a utilizar [V]

Se sustituyen los valores de la potencia obtenidos en la Tabla 4.3 y del panel elegido se obtiene el valor de la ficha técnica del panel fotovoltaico, por lo tanto:

$$I = \frac{12.32 W}{12 V} = 1.027 A$$

El siguiente paso es calcular el amperaje-hora para elegir la batería que mejor se ajuste a las necesidades, esto se define multiplicando el resultado de la fórmula (4 - 8) por el número de horas previamente marcadas en la Tabla 4.3, con este valor, podemos determinar las características mínimas para hacer la compra de baterías, conside-



rando los valores comerciales que se manejan en el mercado, el cálculo se muestra a continuación:

$$1.027 A \cdot 7 h = 7.189 \cong 7 Ah$$

Para finalizar los cálculos y definir el valor del regulador de carga a utilizar, se utiliza la una ecuación general, como se muestra a continuación. En el caso específico del proyecto *Prende la luz de México* y de Iluméxico AC, se hace uso de un regulador de carga protegido intelectualmente por la propia organización, cuyos cálculos son reservados por la propia organización. Para este trabajo de tesis y con el fin de completar el cálculo del sistema, se hizo un cálculo general como el que se haría para cualquier otro sistema que no cuente con patente alguna. La ecuación básica es la siguiente:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{P}{V} \quad (4 - 9)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}x}$  = Corriente de máximo rendimiento [A]

$P$  : Potencia máxima del panel [W]

$V$  : Voltaje del panel a utilizar [V]

Sustituyendo los valores en la ecuación (4 - 9) queda:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{20 W}{12 V} = 1.66 A$$

Para elegir el sistema aislado y el regulador que le toca, se debe elegir uno que tenga capacidad para aumentar la corriente un 25% superior a la corriente de cortocircuito que le llegue de los módulos, para este caso, al ser un solo módulo conectado y este cuenta con una  $I$  máxima de 2.5 (A) y el 25% se traduce en un 1.25, el resultado de este será el valor a buscar con algún proveedor que satisfaga las necesidades para así contar con un mayor y mejor rendimiento de todo el equipo, ya que el regulador de carga es el corazón del sistema. Por tanto quedaría así:

$$I_{nom} = I_{m\acute{a}x} 25\% = 1.66 A \cdot 1.25 = 2.075 \cong 3 A$$

Es así como se concluyó la parte de los cálculos para el sistema fotovoltaico autónomo a instalar en la comunidad de Tihuatlán. En la Figura 4.2 se muestra el resultado final en un sistema físico, resultado del cálculo previamente realizado en este capítulo. Este es el sistema el cual daría abastecimiento de iluminación a 1 familia y de ahí continuar con el proyecto de iluminación, para beneficiar a 25 familias.





Figura 4.2 Sistema a implementar en el proyecto *Prende la luz de México* (Iluméxico, 2012).

En la Tabla 4.6 se muestra el resultado final del sistema fotovoltaico calculado a lo largo de este capítulo, se muestran los elementos antes vistos en la Figura 4.2, obteniendo como resultado un sistema fotovoltaico autónomo de 20W el cual sería distribuido a lo largo de la comunidad *El Ejido*, para satisfacer las necesidades de luz en sus viviendas y de esta manera dejar los viejos métodos de iluminación.

Tabla 4.6 Resumen de las características del sistema fotovoltaico.

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| <b>Panel Solar</b>           | 20W                |
| <b>Batería</b>               | 12V, 7Ah           |
| <b>Controlador de Carga</b>  | 3A                 |
| <b>Focos</b>                 | 4 LED 3W           |
| <b>Accesorios</b>            | Cableado y Sockets |
| <b>Manual de Instalación</b> | Si                 |
| <b>Garantía</b>              | 20 años            |

#### 4.5 INSTALACIÓN DEL SISTEMA

La iniciativa de las personas fue muy importante y placentera, ya que entre ellos se ayudaban para dar aviso a las personas que se encontraban más aisladas y pudieran asistir a un punto medio en donde se les entregaría el equipo de iluminación, así como una plática de lo que era el proyecto *Prende la luz de México*. Dentro de las experiencias por este nuevo beneficio en sus viviendas, se observó que tuvo una excelente



aceptación por parte de los pobladores ya que manifestaban que gracias a eso tendrían un mayor aprovechamiento de su día a día. Así como el interés por aprender más sobre el funcionamiento del equipo tanto de los jóvenes como de las personas mayores.

Se tuvo la fortuna de que los mismos habitantes cooperaran en la instalación de sus equipos, formando así un sólido grupo de trabajo, esto permitía se instalarán más equipos en un día.

En las Figuras 4.3 a la 4.8 se muestra la recepción, el diagrama de armado del sistema fotovoltaico e instalación de los sistemas, así como la participación de las personas en cuanto a la instalación y las platicas respecto a este proyecto, muestra el interés de los habitantes de *El Ejido* por saber más del proyecto, obteniendo así una retroalimentación fluida.



Figura 4.3 Entrega del equipo fotovoltaico (Illuméxico, 2012).



El sistema fotovoltaico es muy fácil de instalar ya que todo parte del regulador de carga, lo único que se tiene que hacer es identificar a donde va cada componente. En el regulador de carga viene marcado donde es que va el panel solar, los focos y la batería, en todos los casos marcado con un color rojo el positivo (+) y con un color negro el negativo (-). Una vez identificada esa parte solo es cuestión de conectar los cables tal y como se muestran en la Figura 4.4 y así es como se tendrá un sistema fotovoltaico funcionando. En cuestiones técnicas se tiene que ver que la batería y el regulador de carga estén en lugares secos y que no les escurra agua, en cuanto al panel solar no se tiene problemas en esa zona ya que no hay árboles grandes que hagan sombra, solo es cuestión de pasar un trapo húmedo aproximadamente una vez las mes para quitar polvo o algún tipo de basura que llegue a caer al panel, así siempre se tendrá un optimo funcionamiento del sistema.

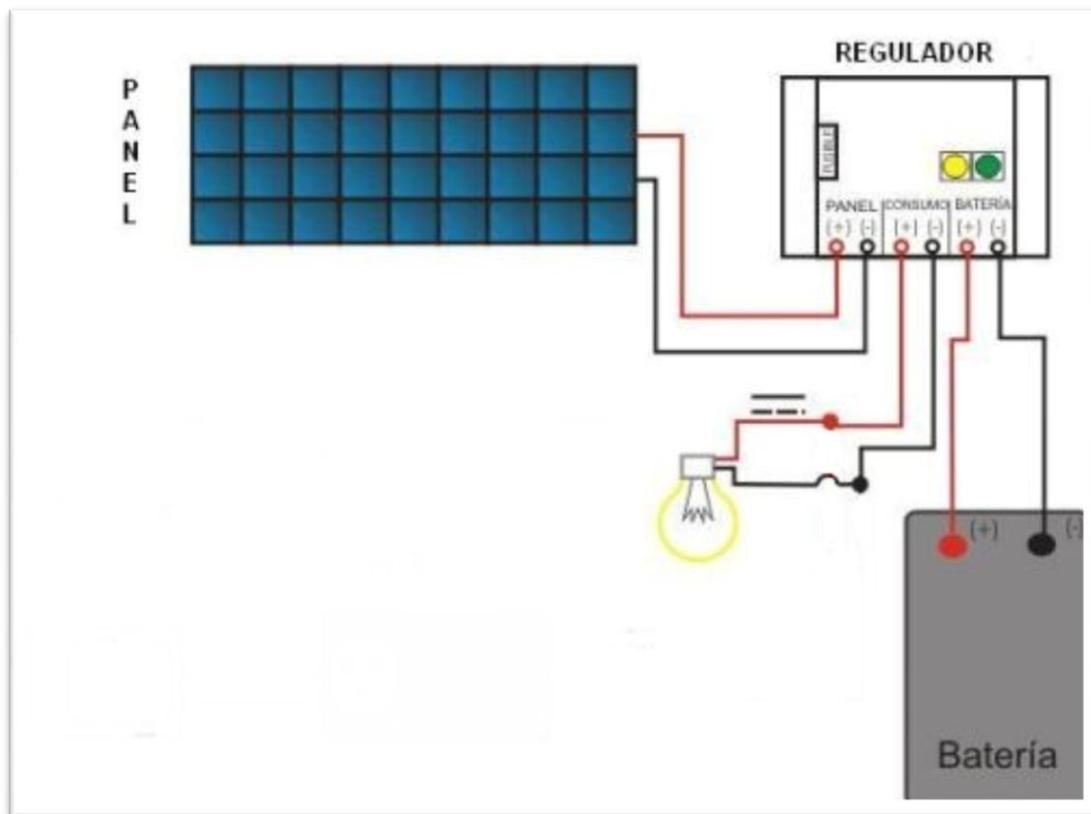


Figura 4.4 Forma gráfica en la cual se conecta el equipo fotovoltaico (Illuméxico, 2012)





Figura 4.5 Plática con habitantes de *El Ejido* sobre el programa *prende la luz de México* (Iluméxico, 2012)



Figura 4.6 Apoyo a los adultos de la comunidad para la conexión del equipo (Iluméxico, 2012)



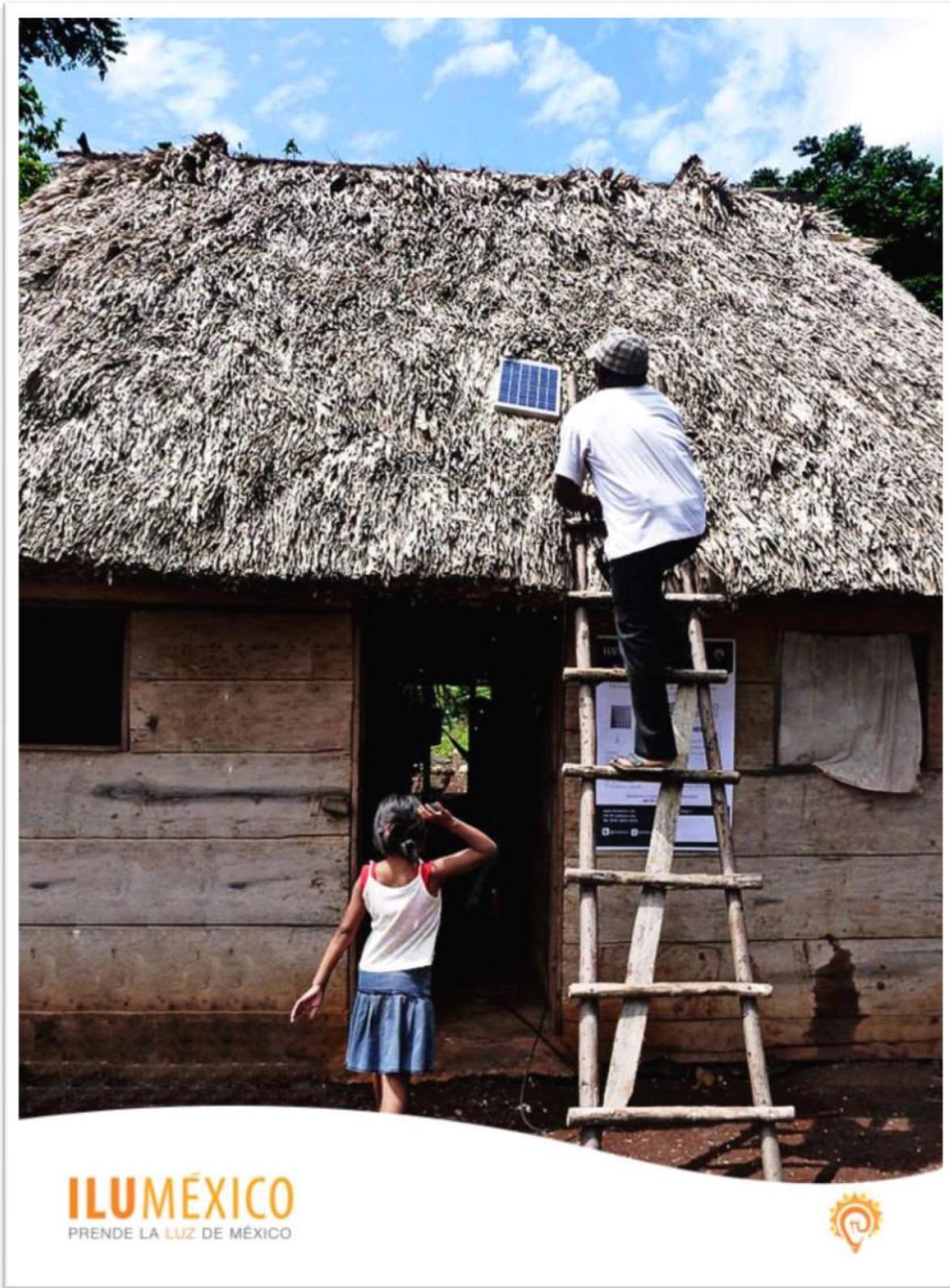


Figura 4.7 Instalación del equipo fotovoltaico (Iluméxico, 2012).





Figura 4.8 Equipo fotovoltaico instalado (Illuméxico, 2012).

En la Tabla 4.7 se especifican los detalles técnicos, que cuenta el sistema solar fotovoltaico que se dejó a cada una de las 25 familias beneficiadas con este programa. La intención de dejar estas especificaciones, es que puedan contar con una guía práctica del sistema que están utilizando y saber lo que tienen en sus manos.



Tabla 4.7 Especificaciones

| <b>Especificaciones técnicas.</b> |                             |                 |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| <b>Especificaciones</b>           | <b>Panel solar</b>          | <b>Unidades</b> |
| Potencia                          | 20                          | W               |
| Tipo de Celda                     | Monocristalino              | No aplica       |
| Voltaje                           | 12                          | V               |
| Corriente                         | 1.66                        | A               |
| Medidas                           | 29.6x64.1x2.5               | cm              |
| Peso                              | 2.4 kg                      | kg              |
| Conexión                          | 5mts de cable de 18         | AWG             |
| <b>Especificaciones</b>           | <b>Batería</b>              | <b>Unidades</b> |
| En uso                            | 12                          | V               |
| en reposo                         | 10                          | V               |
| Temperatura                       | 25                          | °C              |
| Corriente                         | 7                           | Ah              |
| Medidas                           | 181x77x125                  | mm              |
| Peso                              | 7                           | kg              |
| <b>Especificaciones</b>           | <b>Foco Led</b>             | <b>Unidades</b> |
| Potencia                          | 3                           | W               |
| Voltaje                           | 12                          | V               |
| Ángulo                            | 220                         | °               |
| Emisión de color                  | Blanco puro                 | No aplica       |
| <b>Especificaciones</b>           | <b>Controlador de carga</b> | <b>Unidades</b> |
| Corriente de entrada              | 3                           | W               |
| Corriente de salida               | 1.66                        | W               |

#### 4.6 COSTO BENEFICIO

En el estudio de caso que se realizó, uno de los elementos claves para determinar la factibilidad del proyecto era conocer el gasto efectuado en el consumo mensual de fuentes no renovables: velas o diésel, de manera que pudiera efectuarse un comparativo para conocer el ahorro generado por el desplazamiento de fuentes fósiles con sistemas fotovoltaicos. En la Tabla 4.8 se muestran los resultados del comparativo entre: velas, lámparas de diésel y sistemas fotovoltaicos unifamiliares; en términos de costo unitario, gasto mensual, gasto anual y gasto a 20 años, que es el periodo de vida que tiene el panel fotovoltaico. Para ello se consideró un consumo aproximado de cuatro paquetes de velas mensuales con un peso equivalente de 1.032Kg, y 7 litros de diésel por mes, que es el consumo promedio por familia de esta comunidad.



Tabla 4.8 Comparación de los costos entre los diferentes medios de iluminación (Iluméxico, 2012).

| Comparativo Económico    |                    |                   |                       |
|--------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
|                          | Velas<br>(paquete) | Diésel<br>(litro) | Panel<br>fotovoltaico |
| Costo Unitario<br>(MX\$) | 30.00              | 11.35             | 1,250.00              |
| Mensual<br>(MX\$)        | 120.00             | 79.45             | 104.00                |
| Anual<br>(MX\$)          | 1,440.00           | 953               | 1,250.00              |
| 20 años<br>(MX\$)        | 28,800.00          | 11,436.00         | -25,000.00            |

En este proyecto no se mencionan gastos por cambios de baterías o mantenimiento. La causa por la cual no fue tomada en cuenta el cambio de baterías a 5 años, tiempo de vida aproximado promedio, fue que se obtuvo el apoyo del ayuntamiento de Tihuatlán para que ellos se hicieran cargo del gasto por dicho cambio. El mantenimiento tampoco fue tomado en cuenta ya que el sistema autónomo requiere acciones mínimas de mantenimiento que consisten en limpiar constantemente el panel fotovoltaico de polvo u hojas a fin de evitar bloqueos de luz en el panel y por tanto pérdida de eficiencia, en cuanto a la batería y controlador de carga, sólo se requiere mantener en una superficie seca, alejados de insectos y objetos inflamables. Respecto a los focos LED utilizados, se contempla una vida útil de 10,000 horas, superior a las 1000 horas promedio que maneja un foco incandescente. En el caso de fallas, se aplicarían las garantías de Iluméxico, esto siempre y cuando se hubiere cumplido con los lineamientos de cuidado y uso específicos proporcionados durante la capacitación. La operación del proyecto, si bien fue ejecutada por Iluméxico, fue auspiciada por una institución gubernamental. El sistema, sin considerar dicha operación, tiene un costo neto de \$1,250.00 pesos.

El proyecto consideró un apoyo adicional del ayuntamiento para el cambio de baterías en el periodo de vida de éstas que es de 5 años, por lo que en línea con dicho acuerdo, le correspondería al ayuntamiento invertir, en los 20 años de vida del sistema fotovoltaico, lo equivalente a cuatro cambios de baterías, esto implica una inversión aproximada de \$50,000.00 pesos para las 25 familias que cuentan con el sistema, considerando un precio unitario por batería de \$500.00 pesos.

Dado que los apoyos gubernamentales responden a condiciones específicas de presupuesto, marginación e interés político, el costo de recuperación es distinto en cada localidad donde se desarrolla el proyecto *Prende la luz de México*. Por ello, en cada zona considerada para la implementación del proyecto, será necesario contar con un estudio particular y con las negociaciones particulares correspondiente. Para el caso de Tihuatlán, el costo de recuperación será de no más de un año como se mostró en la Tabla 4.6 (Iluméxico, 2012).



#### 4.7 COSTO DE EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA

En algunos casos, la inversión inicial se amortiza sólo por el hecho de que el coste para electrificar la zona es superior al de la instalación de un sistema solar fotovoltaico (CECU, 2004). El costo unitario por extensión de la red eléctrica de distribución en zonas rurales, por parte de la CFE (julio de 2011), tiene un costo cercano a los 190 mil pesos por Km. En la Tabla 4.9 se muestran los costes detallados (De Buen, 2011). Haciendo así que el proyecto de electrificación dentro de la comunidad de Tihuatlán y con sus 25 familias no pueda ser viable para la CFE por el coste que este implica.

Tabla 4.9 Coste de construcción de redes por kilómetro de línea de distribución en área natural y con postes de madera (De Buen, 2010)

| Concepto   | Costo \$   |
|--|------------|
| <b>Materiales y equipo de instalación permanente</b> | 137,182.45 |
| <b>Mano de obra</b>                                  | 46,358.19  |
| <b>Diseño del proyecto</b>                           | 1,614.44   |
| <b>Supervisión</b>                                   | 1,553.60   |
| <b>Costo total/Km</b>                                | 186,708.67 |

#### 4.8 OPERACIÓN DEL SISTEMA

Una vez operando el sistema de iluminación mediante el panel fotovoltaico, observamos la cara de satisfacción de las personas así como sus manifestaciones de agradecimiento por dicho apoyo. Muchas de estas personas su emoción era debido a que nunca habían visto lo que era su vivienda alumbrada por un foco. En la Tabla 4.10 se muestra un resumen de los resultados de operación de los componentes del equipo fotovoltaico, previamente calculados.

Tabla 4.10 Resultados de operación.

| Equipo                                  | Cantidad | Horas de uso | Capacidad calculada | Capacidad de trabajo |
|---|----------|--------------|---------------------|----------------------|
| Panel solar                             | 1        | 24 hrs.      | 20.38 (W)           | 20 (W)               |
| Batería                                 | 1        | 24 hrs.      | 7.18 (Ah)           | 7 (Ah)               |
| Focos                                   | 4        | 5 hrs.       | 3 (W)               | 3 (W)                |
| Controlador de carga                    | 1        | 24 hrs.      | 2.075 (A)           | 3 (A)                |
| <b>Costo total del kit fotovoltaico</b> |          |              |                     | \$1,250.00           |
| <b>Costo real del kit fotovoltaico</b>  |          |              |                     | \$5,000.00           |



Para el caso de la Tabla 4.11 se muestra el rango de edades de las personas a las que se les fue entregado un sistema así como el interés por saber más sobre su funcionamiento y mantenimiento. En las Figuras 4.7 a la 4.9 podemos ver el asombro de las personas beneficiadas al ver sus viviendas alumbradas, en algunos de los casos el asombro era por ser la primera vez en que veían la luz eléctrica, muchas de estas personas que se vieron beneficiadas mostraron su gratitud ante el equipo de Iluméxico AC por haber llevado este proyecto.

Tabla 4.11 Beneficiados e interesados en el sistema fotovoltaico por edades (Iluméxico, 2012).

| Edades   | Beneficiados con panel fotovoltaico | Interés por saber más del sistema |
|----------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 10 a 15  | x                                   | √                                 |
| 16 a 20  | x                                   | √                                 |
| 21 a 25  | x                                   | √                                 |
| 26 a 30  | 1                                   | x                                 |
| 31 a 35  | 3                                   | √                                 |
| 36 a 40  | 5                                   | x                                 |
| 41 a 45  | 8                                   | √                                 |
| 46 a 50  | 2                                   | x                                 |
| 51 a 55  | 3                                   | √                                 |
| 56 a 60  | x                                   | x                                 |
| 61 a 65  | x                                   | x                                 |
| 66 a 70  | x                                   | x                                 |
| 71 a 75  | 1                                   | x                                 |
| 76 a 80  | 1                                   | x                                 |
| 81 a 85  | x                                   | x                                 |
| 86 a 90  | 1                                   | x                                 |
| 91 a 95  | x                                   | x                                 |
| 96 a 100 | x                                   | x                                 |

De esta Tabla 4.11 se observó que el mayor número de familias beneficiadas estuvo dentro del rango de los 41 a 45 años de edad, si bien este fue el rango de edad de beneficiados, se observó cómo los jóvenes dentro de la comunidad fueron los más interesados en saber más sobre el sistema fotovoltaico que se les entregaba. En el aspecto de querer saber más sobre como conectar el sistema, así como los cuidados que este debía de tener. Al tener este interés en jóvenes del rango entre los 10 a los 35 años de edad, se aprovechó para capacitarlos y formar en ellos la conciencia de apoyar a sus vecinos de la comunidad si llegarán a presentar algún problema menor en sus equipos fotovoltaicos (desconexión de cables, alguna hoja que tapara el panel, problemas de falso contacto, etc.). Ya para los problemas mayores (focos fundidos, mal funcionamiento de la batería, errores de fábrica) se recurría al ayuntamiento quien haría llegar la información a las oficinas centrales de Iluméxico, para hacer los



cambios pertinentes de acuerdo a su garantía de 20 años de acuerdo a la vida útil del equipo.

El Funcionamiento del panel solar se debe a un dispositivo compuesto por un conjunto de celdas fotovoltaicas, montadas sobre una placa base y conectadas convenientemente para lograr el máximo aprovechamiento de la radiación solar. En el momento en que queda expuesto a la radiación solar, los diferentes contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que, entonces, pueden romper la barrera de potencial de la unión P (ánodo) y N (cátodo), y salir así del semiconductor a través de un circuito exterior. Estas celdas fotovoltaicas se combinan de muy diversas formas para lograr tanto el voltaje como la potencia deseados y de este modo poder conseguir que la energía solar se acabe convirtiendo en energía que poder consumir.

Sobre las celdas se ubica un material transparente a los rayos solares que las protege de la incidencia de factores externos. Este conjunto se monta sobre un marco de aluminio que da rigidez mecánica al dispositivo, terminando el montaje con un sello en ambas caras que hace al sistema estanco, especialmente a la humedad ambiente. En la parte posterior se instala una caja de conexiones, donde se conectarán los conductores que hacen de nexo entre el panel y el sistema solar. El mismo funcionamiento aplica para el sistema solar fotovoltaico instalado en la comunidad de *El Ejido*.

En la Tabla 4.12 se muestra el periodo de vida de cada uno de los componentes utilizados en la instalación que se llevo a cabo en el municipio de *El Ejido*, para demostrar y dejar de forma clara que cada componente tiene cierto periodo de vida. La intención de esta tabla es hacer saber que después de un tiempo específico el equipo no funcionara de la misma manera.

Tabla 4.12 Tiempo de vida de los componentes de un sistema (Iluméxico, 2012).

| Duración del sistema fotovoltaico |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| Equipo                            | Periodo de vida |
| Panel Solar                       | 20 años         |
| Batería                           | 5 años          |
| Controlador de Carga              | 20 años         |
| Focos                             | 6 a 7 años      |
| Cableado y Sockets                | 20 años         |



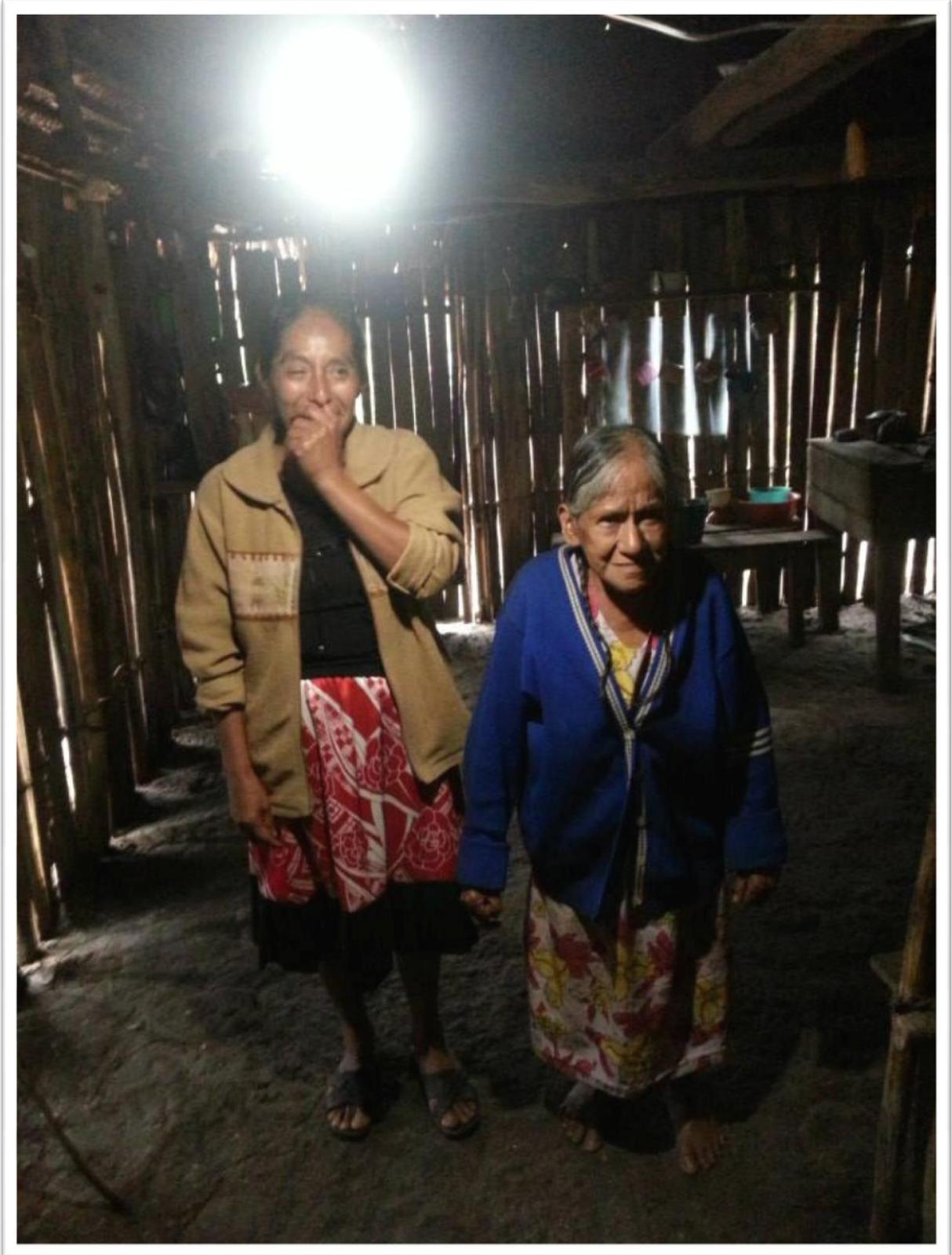


Figura 4.9 Iluminación dentro de la vivienda (Illuméxico, 2012).



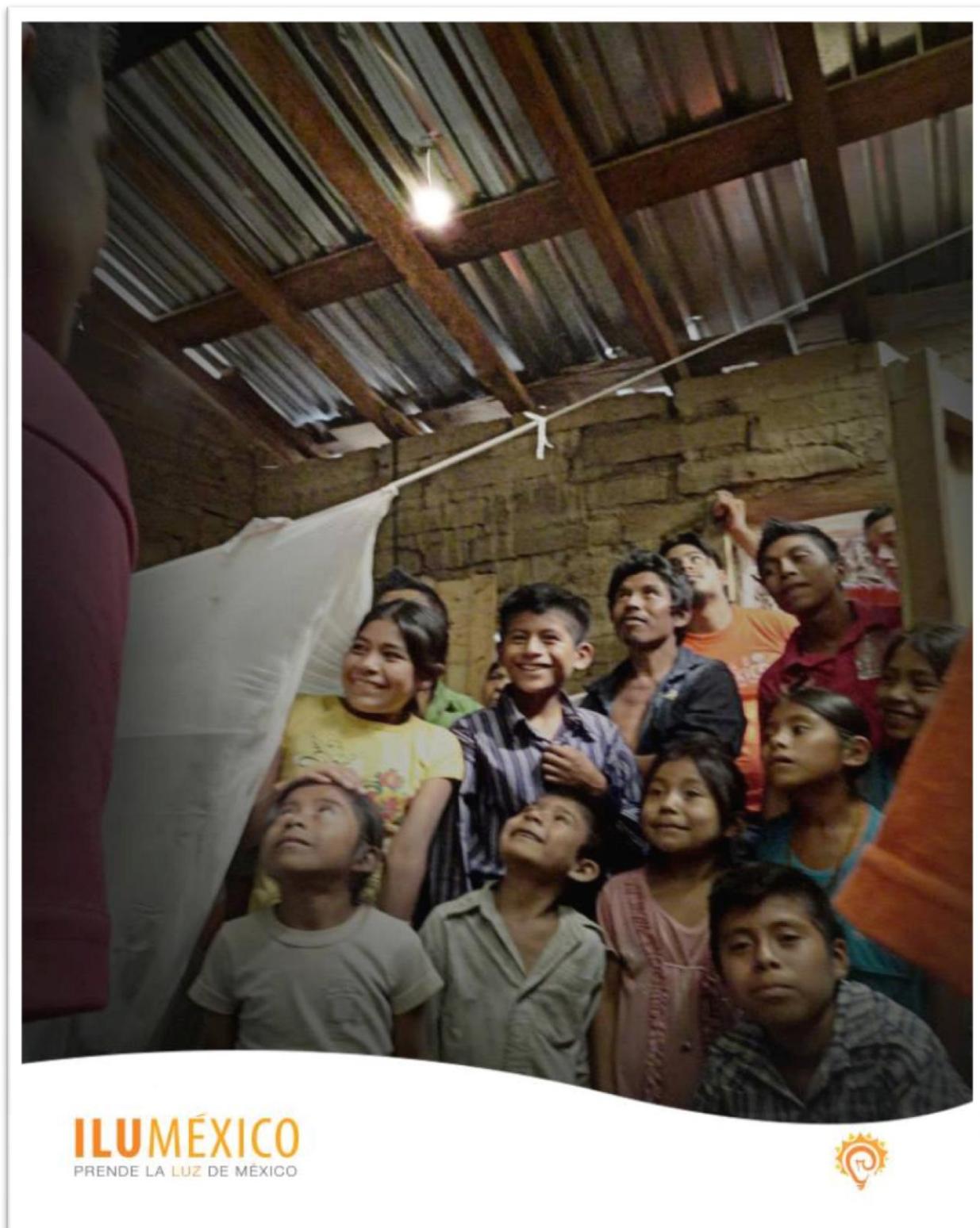


Figura 4.10 Plática formativa a los jóvenes de la comunidad (Illuméxico, 2012).





Figura 4.11 Capacitación para la instalación de los equipos (Ilum México, 2012).

#### 4.9 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EVITADAS

El uso intensivo de combustibles fósiles (carbón o gas natural) en las plantas de generación, como ocurre en México, originan problemas que se pueden agravar en el mediano y largo plazo. Tal como es el agotamiento de las reservas de estos recursos no renovables, daños a la salud y una mayor incidencia de desastres naturales (ocasionados por el aumento de emisiones, que provocan daños a las vías respiratorias, así como el incremento en la temperatura promedio del planeta). Fomentar, un uso racional de recursos no renovables e incrementar la implementación de fuentes de energía que causan un menor impacto al medio ambiente, como las energías renovables, puede jugar un papel importante para prevenir estos problemas (SENER, 2012).

Los sistemas fotovoltaicos no requieren de combustible para operar y no liberar ningún tipo de emisiones tóxicas durante su operación. A continuación se sacó las emisiones evitadas de los medios que se utilizaban para iluminar las viviendas, teniendo como principales medios de iluminación el diésel y las velas, para este caso de las velas se habló en concreto de su componente que es la parafina como material que se utiliza para la fabricación de las velas.



**a) Gases emitidos por el diésel:**

Se necesitó saber el índice de emisiones de CO<sub>2</sub> que en este caso es de:

$0.07410 \frac{Kg\ CO_2}{MJ}$  de diésel industrial

$42.6 \frac{MJ}{Kg}$  poder calorífico inferior

$0.84 \frac{Kg}{l}$  la densidad

Con esta serie de valores solo es cuestión de multiplicarlos para sacar el total de las emisiones evitadas, sabiendo que la gente utilizaba aproximadamente 7 litros por mes para su iluminación, se realiza el siguiente cálculo:

$$7 \frac{l}{mes} \cdot 0.84 \frac{Kg}{l} \cdot 0.07410 \frac{KgCO_2}{MJ} \cdot 42.6 \frac{MJ}{Kg} = 18.56 \frac{KgCO_2}{mes}$$

**b) Gases emitidos por las velas (parafina):**

Se necesitó saber el índice de emisiones de CO<sub>2</sub> que en este caso es de:

$0.07330 \frac{Kg\ CO_2}{MJ}$  Para la parafina.

$43.3 \frac{MJ}{Kg}$  Poder calorífico inferior.

$0.8 \frac{Kg}{l}$  La densidad.

Con esta serie de valores solo es cuestión de multiplicarlos para sacar el total de nuestras emisiones evitadas, sabiendo que la gente utilizaba aproximadamente 4 paquetes de velas de 20 cada paquete y con motivos de hacer más sencillo el cálculo, se tiene un aproximado que por cada 6 litros es un paquete de velas, por tanto lo calculamos así:

$$24 \frac{l}{mes} \cdot 0.8 \frac{Kg}{l} \cdot 0.07330 \frac{KgCO_2}{MJ} \cdot 43.3 \frac{MJ}{Kg} = 60.93 \frac{KgCO_2}{mes}$$

Este resultado como bien se puede observar es por mes, si esto lo vemos a 1 años los resultados son:

Para efectos con diésel  $18.56 \frac{KgCO_2}{mes} \cdot 12\ meses = 222.72 \frac{KgCO_2}{año}$

Para efectos con parafina  $60.93 \frac{KgCO_2}{mes} \cdot 12\ mese = 731.16 \frac{KgCO_2}{año}$



A veinte años que es lo que el sistema fotovoltaico duraría, las emisiones evitadas serían:

$$\text{Para efectos con el diésel} \quad 222.72 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{año}} \cdot 20 \text{ años} = 4,454.4 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{año}}$$

$$\text{Para efectos con la parafina} \quad 731.16 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{año}} \cdot 20 \text{ años} = 14,623.2 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{año}}$$

Estas son las emisiones que se estarían evitando a lo largo del uso del sistema fotovoltaico por familia, como bien se mencionó en un principio el sistema fotovoltaico no emite ningún gas debido a que no utiliza ningún combustible para su funcionamiento, todo proviene del sol. Lo que si debemos de considerar es que se utiliza energía durante el proceso de fabricación de los módulos fotovoltaicos, la disponibilidad de las materias primas. El Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos (NREL) condujo recientemente el Proyecto de Armonización de la Evaluación del Ciclo de Vida, el cual brinda estimaciones más exactas de las emisiones de gases de efecto invernadero para la generación renovable y convencional.

Para el caso de los gases de efecto invernadero producidos por la elaboración de estos paneles se tomaron en cuenta los siguientes datos donde un sistema fotovoltaico emite:

$$40 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}} \text{ Para la elaboración de paneles fotovoltaicos.}$$

Para efectos prácticos, se convirtieron las emisiones de gas de efecto invernadero a  $\text{TCO}_2/\text{MWh}$  con la siguiente equivalencia:

$$1 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}} = \frac{1}{1000} \frac{\text{TCO}_2}{\text{MWh}}$$

Sabiendo las emisiones de gas de efecto invernadero aplicamos la anterior ecuación:

$$40 \cdot \frac{1}{1000} = 0.04 \frac{\text{TCO}_2}{\text{MWh}}$$

En México el régimen térmico neto de una central carboeléctrica es de 10,243 kJ/kWh, por lo que se tienen, para la generación de electricidad por combustión de carbón, emisiones de 1,940  $\text{gCO}_2/\text{kWh}$ . Aplicando los pasos anteriores:

$$1,940 \cdot \frac{1}{1000} = 1.94 \frac{\text{TCO}_2}{\text{MWh}}$$

La demanda anual de energía del módulo fotovoltaico es de  $109.41 \frac{\text{MWh}}{\text{año}}$ . Para calcular las emisiones anuales de gas de efecto invernadero causadas por el panel fotovoltaico, se multiplicó la energía consumida anualmente.

$$109.41 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \cdot 0.04 \frac{\text{TCO}_2}{\text{MWh}} = 4.38 \frac{\text{TCO}_2}{\text{año}} = 4,380 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{año}}$$



Para la generación a partir de la combustión de carbón:

$$109.41 \frac{MWh}{año} \cdot 1.94 \frac{TCO_2}{MWh} = 212.25 \frac{TCO_2}{año} = 212,250 \frac{KgCO_2}{año}$$

A veinte años que es lo que el sistema fotovoltaico duraría, las emisiones evitadas serían:

Para efectos con la producción del panel fotovoltaico:

$$4,380 \frac{KgCO_2}{año} \cdot 20 años = 87,600 \frac{KgCO_2}{año}$$

Para efectos de la planta carboeléctrica:

$$212,250 \frac{KgCO_2}{año} \cdot 20 años = 4,245,000 \frac{KgCO_2}{año}$$

En la Tabla 4.13 se hace un comparativo de las emisiones de cada sistema en un periodo de un año y en un periodo de 20 años, mostrando que los gases de efecto invernadero en la fabricación de paneles fotovoltaicos es muy alta así como si entrara una central carboeléctrica. Si bien la emisión de gases de efecto invernadero en la producción de energía eléctrica de mediante paneles solares es nula, no lo podemos decir así de su producción.

Tabla 4.13 Emisión de gases a un año y veinte años (Iluméxico, 2012).

| Concepto                          | Emisión anual<br>KgCO2/año     |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Parafina                          | 731.16                         |
| Diésel                            | 222.72                         |
| Fabricación de panel fotovoltaico | 4,380.00                       |
| Central carboeléctrica            | 212,250                        |
| Concepto                          | Emisión a 20 años<br>KgCO2/año |
| Parafina                          | 14,623.20                      |
| Diésel                            | 4,454.40                       |
| Fabricación de panel fotovoltaico | 88,600.00                      |
| Central carboeléctrica            | 4,245,000.00                   |



## **4.10 ANÁLISIS FINANCIERO**

### **4.10.1 VALOR PRESENTE (VP)**

Este método consiste en actualizar los flujos de efectivo (traerlos al valor presente) uno a uno, descontándolos a una tasa de interés igual al costo de capital y sumar éstos, comprar dicha suma con la inversión inicial, de tal forma que: si el valor actual de la suma de los flujos es mayor o igual a la inversión, el proyecto se acepta como viable, en caso contrario se rechaza (Hernández y col., 2005).

### **4.10.2 VALOR PRESENTE NETO (VPN)**

Este método consiste en restar el valor presente, de tal forma que si esta diferencia es mayor a cero, el proyecto se considera viable y se acepta porque, en pesos de hoy, los ingresos son mayores que los egresos. Si la diferencia es menor a cero, significa que en pesos de hoy los ingresos son menores que los egresos y por lo tanto el proyecto se rechaza. Si el valor presente neto (VPN) es igual a cero, los ingresos serán iguales a los egresos y financieramente le será indiferente al inversionista (Baca, 2005). Desde el punto de vista matemático el VPN es la sumatoria de los flujos de caja puestos en el día de hoy.

#### **4.10.2.1 CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO**

En la Tabla 4.14 se presentan los precios promedio anuales de la electricidad, para la trifa OM región sur y los porcentajes promedio de incremento, del año 2002 al 2013. Considerando el incremento del 10.58% anual en la tarifa OM región sur. Se cálculo el costo de la energía eléctrica para los siguientes 20 años (tiempo de vida del sistema diseñado). Para el cálculo del VPN se tomó como egreso la inversión inicial del proyecto, ya que en sistemas que aprovechan energía renovable, este es el principal costo. Los costos de energía eléctrica que ya no se pagarán a CFE se tomaron como los ingresos. Se tomo una tasa de descuento del 12%, tomada de los costos y parámetros de referencia publicados por la CFE.



Tabla 4.14 Precios promedio de electricidad, tarifa OM región Sur y porcentajes de incremento (CFE, 2014).

| Año                          | Precio (\$/kWh) | % Incremento |
|------------------------------|-----------------|--------------|
| 2002                         | 0.49            | 0            |
| 2003                         | 0.60            | 21.80        |
| 2004                         | 0.70            | 16.40        |
| 2005                         | 0.77            | 11.04        |
| 2006                         | 0.88            | 12.97        |
| 2007                         | 0.90            | 2.42         |
| 2008                         | 1.19            | 31.42        |
| 2009                         | 0.98            | -16.59       |
| 2010                         | 1.14            | 16.68        |
| 2011                         | 1.26            | 10.67        |
| 2012                         | 1.33            | 6.05         |
| 2013                         | 1.36            | 2.49         |
| <b>% incremento promedio</b> |                 | <b>10.58</b> |

Para calcular el Valor Presente Neto para el sistema fotovoltaico, primero se calcularon los ingresos. La generación de energía anual del sistema fotovoltaico se multiplicó por los costos de energía eléctrica anual de CFE, así se obtuvieron los ingresos anuales del proyecto. De la Tabla 4.10 se obtuvo la inversión inicial del sistema. En la Tabla 4.15 se muestra el valor del VP por cada ingreso y la inversión inicial, en la columna del flujo neto de efectivo (FNE) que son los ingresos y egresos. Estos cálculos fueron realizados en Excel mediante formulas establecidas para un resultado más exacto de lo que buscamos. Con estos datos se hizo el cálculo del VPN del sistema fotovoltaico.



Tabla 4.15 Resultado del cálculo del valor presente neto del sistema fotovoltaico diseñado

| Año        | FNE             | VPA                      |
|------------|-----------------|--------------------------|
| 0          | -\$2,625,000.00 | -\$2,625,000.00          |
| 1          | -\$2,663,250.00 | -\$5,002,901.79          |
| 2          | -\$2,701,763.50 | -\$7,156,731.11          |
| 3          | -\$2,740,519.70 | -\$9,107,378.90          |
| 4          | -\$2,779,497.09 | -\$10,873,799.55         |
| 5          | -\$2,818,672.37 | -\$12,473,189.95         |
| 6          | -\$2,858,020.29 | -\$13,921,151.97         |
| 7          | -\$2,897,513.60 | -\$15,231,839.98         |
| 8          | -\$2,937,122.91 | -\$16,418,094.66         |
| 9          | -\$2,976,816.52 | -\$17,491,564.54         |
| 10         | -\$3,016,560.35 | -\$18,462,816.23         |
| 11         | -\$3,056,317.78 | -\$19,341,434.56         |
| 12         | -\$3,096,049.49 | -\$20,136,113.35         |
| 13         | -\$3,135,713.31 | -\$20,854,737.91         |
| 14         | -\$3,175,264.07 | -\$21,504,459.85         |
| 15         | -\$3,214,653.42 | -\$22,091,765.01         |
| 16         | -\$3,253,829.64 | -\$22,622,535.11         |
| 17         | -\$3,292,737.48 | -\$23,102,103.69         |
| 18         | -\$3,331,317.92 | -\$23,535,306.90         |
| 19         | -\$3,369,508.00 | -\$23,926,529.62         |
| 20         | -\$3,407,240.55 | -\$24,279,747.22         |
| <b>VPN</b> |                 | <b>-\$105,448,710.41</b> |

Para calcular el VPN en caso que CFE quisiera entrar a electrificar la comunidad de *El Ejido*, se seguirían los mismos pasos, sacando el promedio de la tasa de incremento y tomando en consideración una tarifa fija, por ser una comunidad altamente marginada, en la Tabla 4.16 se muestran los resultados si CFE quisiera entrar en la comunidad.



Tabla 4.16 Resultado del cálculo del valor presente neto si CFE electrificara la comunidad  
*El Ejido*

| Año        | FNE             | VPA                    |
|------------|-----------------|------------------------|
| 0          | -\$7,461,995.80 | -\$7,461,995.80        |
| 1          | \$6,668.55      | -\$7,456,041.74        |
| 2          | \$7,001.98      | -\$7,450,459.80        |
| 3          | \$7,352.08      | -\$7,445,226.74        |
| 4          | \$7,719.68      | -\$7,440,320.74        |
| 5          | \$8,105.66      | -\$7,435,721.37        |
| 6          | \$8,510.95      | -\$7,431,409.46        |
| 7          | \$8,936.49      | -\$7,427,367.05        |
| 8          | \$9,383.32      | -\$7,423,577.28        |
| 9          | \$9,852.49      | -\$7,420,024.38        |
| 10         | \$10,345.11     | -\$7,416,693.53        |
| 11         | \$10,862.37     | -\$7,413,570.86        |
| 12         | \$11,405.48     | -\$7,410,643.35        |
| 13         | \$11,975.76     | -\$7,407,898.82        |
| 14         | \$12,574.55     | -\$7,405,325.82        |
| 15         | \$13,203.27     | -\$7,402,913.63        |
| 16         | \$13,863.44     | -\$7,400,652.20        |
| 17         | \$14,556.61     | -\$7,398,532.11        |
| 18         | \$15,284.44     | -\$7,396,544.53        |
| 19         | \$16,048.66     | -\$7,394,681.17        |
| 20         | \$16,851.09     | -\$7,392,934.28        |
| <b>VPN</b> |                 | <b>-\$7,392,934.28</b> |

En ambos casos el VPN es menos a cero por lo que, al igual que en el caso del sistema fotovoltaico, los egresos son mayores a los ingresos, lo que significa que los sistemas deben de ser rechazados por no ser financieramente factibles. Estos resultados se pueden justificar ya que los sistemas aislados tienen costos altos de inversión inicial y por tanto no pueden competir contra los costos de la red de CFE ya su vez CFE no le es viable la electrificación en esta zona para tan solo 25 familias, por los altos costos que esto representa. Cabe destacar que para el proyecto de *Prende la luz de México*, se conto con el subsidio por parte del gobierno, el cual no espera tener ninguna recuperación de su dinero, debido a que eso entra dentro de los proyectos de apoyo a comunidades de alto grado de marginación.



### 4.10.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Financieramente la TIR es la tasa a la cual son desconectados los flujos de caja de forma tal que los ingresos y los egresos sean iguales, desde el punto de vista matemático la TIR es la tasa a la cual el VPN se hace cero. Si la TIR es mayor o igual a la tasa de descuento utilizada para el cálculo del VPN, el proyecto se acepta, de lo contrario se rechaza.

Existen dos clases de flujo de caja: los flujos convencionales y los flujos no convencionales. Los flujos convencionales son aquellos donde primero aparecen los egresos y después aparecen los ingresos y viceversa. Los flujos no convencionales son aquellos donde figuran intercalados los ingresos y los egresos (Baca, 2005).

#### 4.10.3.1 CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO

Aplicando la TIR desde el punto de vista matemático, se necesita encontrar un valor que haga que el VPN de los proyectos propuestos se haga cero, para obtener estos valores se tendría que calcular para cada caso del VPN con diferentes tasas de descuento. Los valores obtenidos se graficarían y después se obtendría un valor más exacto de la TIR, para esto también existe una fórmula matemática en Excel. Para el caso del sistema fotovoltaico autónomo subsidiado por el gobierno y para la CFE en caso de que esta quisiera entrar a electrificar, no aplica la TIR, debido a que en ninguno de los casos se logra obtener un valor positivo y al no ocurrir esto, no se puede obtener un cálculo de la tasa interna de retorno.

Desde el punto de vista meramente económico, el proyecto presenta deficiencias para la auto-sustentabilidad. Este proyecto se financió en un 100% por la Secretaría de Desarrollo Social, quien designó una partida presupuestaria al mismo como parte de sus programas sociales de infraestructura básica. Dicha partida consistía en un fondo perdido para la compra de sistemas e instalación exitosa de los mismos en dicha localidad. Iluméxico AC, en línea con sus políticas de no gratuidad y de participación comunitaria, diseñó un esquema para aprovechar al máximo este fondo y garantizar el cuidado y apropiamiento de los sistemas mediante el cobro de una cuota de recuperación significativa, misma que sería usada en los esfuerzos complementarios de desarrollo en la zona, a través de sus talleres especiales. Este monto corresponde a \$1,250 pesos, considerando que los costos de compra y colocación de sistemas ascienden a \$5,000 pesos, podemos ver que los costos del programa para Iluméxico nunca serían cubiertos, por lo que podemos afirmar que no hay por lo menos bajo dicho esquema, un beneficio económico para dicha institución y por tanto no es calculable una tasa interna de retorno.

No obstante, en aras de lograr la sustentabilidad del proyecto, se hicieron cálculos para determinar el precio mínimo para obtener un retorno de la inversión hecha. El precio obtenido fue de \$8,500 pesos por sistema. Con este precio se muestra en la Tabla 4.17 los resultados del VPN del sistema fotovoltaico para diferentes tasas de descuento, así como la TIR de 13.04%. En la Figura 4.12 se muestra gráficamente el VPN del sistema fotovoltaico y su comportamiento con diferentes tasas de descuento.



Tabla 4.17 Resultado del cálculo de la TIR

| Tasa de descuento | VPN             |
|-------------------|-----------------|
| 0.0%              | \$12,880,176.08 |
| 2.0%              | \$8,715,023.95  |
| 4.0%              | \$5,776,754.16  |
| 6.0%              | \$3,686,348.57  |
| 8.0%              | \$2,187,588.70  |
| 10.0%             | \$1,105,551.31  |
| <b>TIR</b>        | <b>13.04%</b>   |

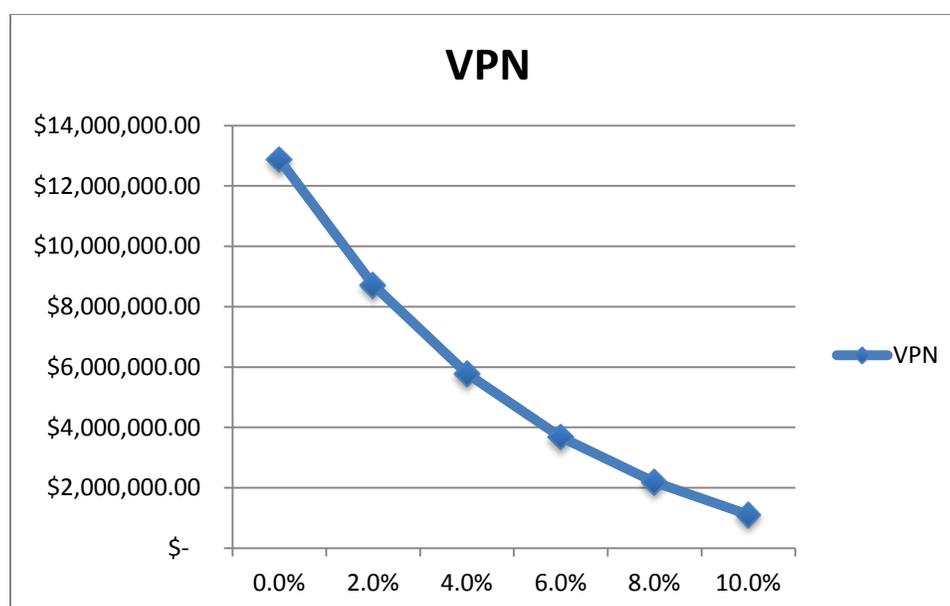


Figura 4.12 VPN del sistema fotovoltaico a diferentes tasas

Para este caso específico se muestra en la Tabla 4.18 el cálculo de recuperación del sistema fotovoltaico, donde se muestra el VPN mayor a cero haciendo el proyecto viable, por lo que el proyecto se acepta, ya que los ingresos son mayores a los egresos. El tiempo de recuperación fue de 19 años con una recuperación de \$74,631.71, muy tardado para verlo como un negocio redituable, el cual deje ganancias a corto plazo. Por tal motivo se maneja el apoyo de SEDESOL para llevar a cabo estos proyectos sociales, ya que por ser institución gubernamental, su inversión es un fondo sin retorno, permitiendo se sigan efectuando proyectos de suministro eléctrico para comunidades alejadas de la red eléctrica y de escasos recursos.



Tabla 4.18 Tiempo de recuperación

| Recuperación de la inversión |                |                       |
|------------------------------|----------------|-----------------------|
| Años                         | FNE            | VPA                   |
| 1                            | -\$726,900.00  | -\$1,414,017.86       |
| 2                            | -\$685,459.45  | -\$1,960,461.93       |
| 3                            | -\$640,480.51  | -\$2,416,343.31       |
| 4                            | -\$135,771.00  | -\$2,502,628.23       |
| 5                            | -\$42,759.97   | -\$2,526,891.39       |
| 6                            | \$56,687.73    | -\$2,498,171.62       |
| 7                            | \$162,929.81   | -\$2,424,470.45       |
| 8                            | \$276,342.68   | -\$2,312,860.27       |
| 9                            | \$397,322.35   | -\$2,169,581.85       |
| 10                           | \$526,285.46   | -\$2,000,132.01       |
| 11                           | \$663,670.32   | -\$1,809,342.65       |
| 12                           | \$809,938.02   | -\$1,601,451.74       |
| 13                           | \$965,573.58   | -\$1,380,167.19       |
| 14                           | \$1,131,087.16 | -\$1,148,724.35       |
| 15                           | \$1,307,015.37 | -\$909,937.53         |
| 16                           | \$1,493,922.59 | -\$666,246.39         |
| 17                           | \$1,692,402.36 | -\$419,757.57         |
| 18                           | \$1,903,078.91 | -\$172,281.97         |
| 19                           | \$2,126,608.68 | <b>\$74,631.71</b>    |
| 20                           | \$2,363,681.96 | \$319,666.98          |
|                              | <b>VPN</b>     | <b>\$1,105,551.31</b> |



# CAPITULO 5

## CONCLUSIONES



Los resultados obtenidos en este trabajo como las energías renovables, en este caso la energía solar puede generar energía eléctrica para abastecimiento en zonas marginadas. Las energías renovables hacen eficiente el uso de energía en las zonas aisladas a la red eléctrica. Debido a que están disponibles sin costo alguno, no provocan riesgos, sustituye a los combustibles que causan daños a la salud, generar bajas emisiones de gases efecto invernadero y lo más importante son amigables al medio ambiente y procuran el bien estar de las personas que lo utilizan.

El sistema fotovoltaico autónomo propuesto para este proyecto de electrificación en la comunidad de Tihuatlán fue técnicamente factible. Debido a las horas de sol con las cuales cuenta la comunidad fue de gran ayuda para que el sistema cargara a su máxima capacidad la mayor parte del tiempo, el panel así como los sistemas que lo complementaron fueron de verdadera utilidad para el uso y manejo de este recurso renovable como lo fue el sol, ya que sin este recurso tal vital en la vida de todo ser vivo no pudo haber sido posible.

Por otra parte y cabe mencionar el análisis realizado con los gases de efecto invernadero el resultado no fue satisfactorio, por el hecho que solo se intervino a 25 familias con el sistema fotovoltaico, si bien este sistema no causa efectos de contaminación, su fabricación si lo causa y para el estudio realizado a esta comunidad no se logró que fuera más el ahorro de emisiones de gas de efecto invernadero en el consumo de energía mediante los paneles solares. Esta vez fue más grande las emisiones de gas de efecto invernadero de la construcción de estos paneles solares. Por lo que queda como tarea el hecho de que entre menos familias sea las que se implemente este sistema más serán las emisiones registradas.

El objetivo principal se cumplió de manera satisfactoria, debido al hecho que una comunidad en la cual ninguno de sus habitantes había tenido el contacto propio de contar con luz eléctrica, hizo que esta visión de los habitantes cambiara, ya que por el hecho de estar alejados de la red domestica y hacer que esto fuera inalcanzable para su comunidad por los altos costos de electrificación que esto representa, se hiciera un cambio. La distancia ya no fue impedimento para que estas 25 familias hoy en día cuenten con un sistema fotovoltaico en la cual se pueden alumbrar y realizar actividades en periodos de tiempo más largos y ya no solo depender de la luz que les brindaba el sol o de sus antiguas fuentes de iluminación que les producían daños a la salud. Las familias se encuentran satisfechas con sus sistemas y motivadas para seguir saliendo adelante en sus actividades diarias.

En este trabajo se analizó el hecho de que las familias beneficiadas no vivieran tan lejos una de la otra, se podría hacer una especie de interconexión mediante un panel solar de capacidad más grande para satisfacer las necesidades de las familias cercanas entre si y de alguna manera que se tuviera un mayor alcance en cuanto a la electrificación y pudieran alimentar más electrodomésticos que ayudaran a satisfacer más necesidades de cada familia.



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## BIBLIOGRAFÍA.

- Baca, G. 2005. Ingeniería económica. Editorial Fondo Educativo Panamericano. Octava edición. Bogotá, Colombia.
- Baker, D. 2013. San Francisco Chronicle. *Ley signos de Brown para la Energía Renovable*. 1: 7-10.
- Bullis, K. 2006. Electricidad solar a gran escala y económica. *Technology Review*. 43: 38-43.
- CECU, 2004. Energía solar fotovoltaica. Proyecto RES & RUE Dissemination. Publicación de la Confederación de consumidores y Usuarios. España.
- CFE, 2014. Consulta tu tarifa. Tarifa O-M. Aplicación de la Comisión Federal de Electricidad. México.
- CONAGUA, 2005. Estación Meteorológica Automática. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. México.
- De Buen, O. 2011. Guía para el desarrollo de proyectos de generación de electricidad con energía renovable en y para los municipios. Producido por USAID (United States Agency International Development). México.
- DF, 2014. Fábricas de Paneles Solares en México. *Directorio de Fabricas*. 12: 1-7.
- Dorn, J. 2013. Producción de Celdas Solares. *Earth Policy Institute Review*. 21: 2-4.
- Fontaine, B. 2013. Perspectiva Mundial sobre Mercado de la Energía Fotovoltaica. *European Photovoltaic Industry*. 4: 8-17.
- Garay, E. 2013. Vida útil del Panel Solar. *eHow*. 3: 5-9.
- García, 2012. La Energía Fotovoltaica Competitiva en Costos. *Obras web*. 1: 1-5.
- Garza, J. 2012. Tipos de Celdas Fotovoltaicas. *Paneles Solares Caseros*. 12: 23-24.
- Gómez, J. 2010. Impactos Ambientales de la Energía Solar y Eólica. *Tedel*. 1: 2-3.
- Gutierrez, B. 2014 Gobierno del Estado de Veracruz. *Municipio de Tihuatlán*. 1: 1-8.
- Ham, H. 2014. Diferentes técnicas de recursos renovables. *Mundo Renovable*. 8: 1-21, 45-67.
- Hernández A., Hernández C., Romero F., 2005. Formulación y evaluación de proyectos para principiantes. Editorial Thomson-Learning. México.
- Iluméxico, 2012. Prende la luz de México. Aplicaciones de trabajo de Iluméxico AC. México.
- LAERFTE, 2008. Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Publicación del Gobierno Federal. México

- Leal, R. 2011. Energía Solar en México. *Vive Inteligente*. 4: 2-10.
- Lecue, A. 2011. Situación Actual de la Energía Solar Fotovoltaica en el Mundo según el Plan de Energías Renovables Periodo 2011-2020. *VitalPro*. 12(2): 1-13
- Martin, A. 2006. Consolidación de la tecnología fotovoltaica: la próxima década de oportunidades. *Progreso Solar*. 25: 83-92.
- Méndez, M. 2010. Energía Solar Térmica. *Fundación Confemetal*. 1. 37-38.
- Mercado, R, 2014. Sistemas fotovoltaicos energía eléctrica solar. Planeta. Pág. 1-15. Ciudad de México. México.
- Miller, G. 2013. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Mc Graw Hill. Pág. 10-16. California, EE.UU.
- Moreno, C. 2012. Energía Solar. Selección de artículos. Editorial CUBASOLAR. Ciudad de La Habana, Cuba.
- NASA ASDC, 2012. NASA Surface Meteorology and Solar Energy – Available Tables. National Aeronautics and Space Administration, Atmospheric Science Data Center. EE.UU.
- Neuman, A, 2013 Eficiencia en un sistema de energía solar fotovoltaico. Be 2 Green. Pág. 13-18. Orlando, Florida, EE.UU.
- NREL, 2012. Ciclo de Vida de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Energía Fotovoltaica. Publicación del National Renewable Energy Laboratory. EE.UU.
- PI, 2012. Harmonization. Publicación del National Renewable Energy Laboratory. EE.UU.
- Richard, M. 2013. La energía solar y la red en la India e Italia. *Treehugger*. 3: 12-15.
- SENER, 2009. Energías Renovables para el Desarrollo sustentable en México. Publicación de la Secretaría de Energía. México.
- SENER, 2012. Balance Nacional de Energía 2011. Publicación de la Secretaría de Energía. México.
- SENER, 2012 b. Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en comunidades rurales de México. Energía solar FV. Publicación de la Secretaría de Energía. México.



Smee, A. 1849. Elements of electro-biology: or the voltaic mechanism of man; of electro-pathology, especially of the nervous system; and of electro-therapeutics. Editado por Smee, A. Pag. 1-15. London, Inglaterra.

SS. 2013. Alemania sigue apoyando la energía solar fotovoltaica con financiación. *Suelo Solar*. 9: 1-7.

TC. 2005. Celdas Solares. *Textos Científicos*. 35: 12-18.

Trebolle, D. 2013. Red de Políticas de Energía Renovable para el Siglo XXI. *Technology review*. 14: 1-80.

Valle, A. 2012. Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México. *México Verde*. 2: 29-31.

