



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**POSGRADO**

---

---

**PROYECTO DE INTERVENCIÓN PROFESIONAL**

**“DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN CON ENERGÍA SOLAR DE  
LA CAFETERÍA DE LA USBI, CAMPUS VERACRUZ”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRIA EN INGENIERÍA APLICADA**

PRESENTA:

**ING. LUIS ANTONIO USCANGA GONZÁLEZ**

DIRECTOR:

**DR. ADRIÁN VIDAL SANTO**

EN MEMORIA DE MI ABUELA, PETRA CAMPOS VALENCIA



# Contenido

Índice de tablas .....	5
Índice de ilustraciones.....	5
Resumen.....	8
Abstract .....	8
<b>CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO GENERAL .....</b>	<b>9</b>
1.1 Planteamiento del problema. ....	10
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivo General.....	12
1.4 Objetivos específicos .....	12
1.5 Hipótesis. ....	12
1.6 Introducción.....	13
1.7 Alcance.....	15
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1 Energía Hidroeléctrica.....	18
2.1.1 Historia .....	18
2.1.2 Desarrollo de la energía hidroeléctrica .....	19
2.2 Energía Eólica .....	20
2.2.1 Historia .....	21
2.2.2 Aplicaciones y desarrollo .....	21
2.2.3 Turbinas de viento modernas.....	22
2.2.4 Generadores eléctricos.....	23
2.3 Energía Geotérmica .....	25
2.4 Energía Biomasa.....	26
2.5 Energía Mareomotriz .....	27
2.6 Energía con etanol y biodiesel .....	28
2.6.1 Biodiesel .....	29
2.6.2 Etanol.....	30
2.7 Energía de las olas o energía undimotriz. ....	30
2.8 Energía solar.....	31
2.8.1 Recolección de energía solar .....	31
2.8.2 Colectores de placa plana.....	32
2.8.3 Colectores de concentración.....	33
2.8.4 Células y paneles fotovoltaicos. ....	34
2.8.5 Efecto fotovoltaico. ....	35
2.8.6 Fabricación .....	37
2.8.7 Tipos de células solares. ....	37
2.8.8 Módulo fotovoltaico .....	38
2.8.9 Modo de funcionamiento.....	39
2.8.10 Sistemas fotovoltaicos conectados a red .....	40
2.8.11 Sistemas fotovoltaicos aislados .....	40
2.8.12 Baterías.....	41
2.8.13 Reguladores de carga de baterías .....	41
2.8.14 Inversor.....	42
2.8.15 Radiación solar .....	43
2.8.16 Geometría solar .....	44
2.8.17 Recorrido óptico de la radiación solar.....	45
2.8.18 Irradiación en superficies inclinadas .....	45
2.8.19 Horas de sol pico (H.S.P.).....	46
2.8.20 Factores De Pérdidas Energéticas .....	47
2.9 Interconexión de células y módulos fotovoltaicos. ....	49
2.10 Eficiencia energética. ....	51



2.11 Situación actual de la energía en México .....	55
2.11.1 Recursos energéticos.....	55
<b>CAPÍTULO 3 SUSTENTABILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO.....</b>	<b>58</b>
3.1 Energía por Biomasa .....	59
3.1.1 Biodiesel .....	60
3.2 Energía Eólica .....	60
3.3 Energía hidráulica .....	61
3.4 Energía Solar en México.....	62
3.5 Situación actual fotovoltaica.....	62
3.5.1 Sistemas fotovoltaicos en México .....	64
<b>CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA.....</b>	<b>66</b>
4.1.1 Normatividad.....	67
4.1.2 Transición energética .....	67
4.1.3 Normatividad eléctrica .....	68
4.1.4 Diagnóstico energético.....	69
4.2 Análisis de la demanda energética del edificio.....	70
4.3 Características del sistema fotovoltaico .....	71
4.3.1 Parámetros de las cargas.....	71
4.3.2 Indicadores de la carga eléctrica del sistema .....	72
4.3.3 Rendimiento promedio (RP) del Sistema Fotovoltaico (SFV) .....	73
4.4 Consumo energético.....	77
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
5.1 Investigación de las celdas solares marca.....	79
5.2 Ubicación de la Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Información (USBI). .....	80
5.3 Medición de la demanda eléctrica.....	82
5.4 Características de la alimentación eléctrica de la subestación de la USBI.....	82
5.5 Monitoreo del consumo de energía en los transformadores.....	83
5.6 Transformador de 750 kVA.....	85
5.6.1 Voltaje.....	85
5.6.2 Corriente.....	86
5.6.3 Distorsión total armónica .....	87
5.6.4 Potencia real.....	88
5.7 Transformador de 500 kVA.....	90
5.7.1 Voltaje.....	90
5.7.2 Corriente.....	90
5.7.3 Distorsión total armónica de voltaje y corriente.....	92
5.7.4 Potencia real.....	93
5.8 Consumo energético de la comunidad estudiantil de la Universidad Veracruzana.....	94
5.8.1 Medición de parámetros eléctricos.....	94
5.8.2 Resultados de la encuesta.....	95
5.9 Comparación consumo real VS consumo de fábrica.....	97
5.10 Equipos utilizados dentro de las instalaciones.....	98
5.11 Diseño del sistema fotovoltaico.....	100
5.11.1 Recurso solar en la USBI, campus Veracruz.....	100
5.11.2 Potencia de los módulos fotovoltaicos.....	101
5.11.3 Cálculo de los efectos por la temperatura.....	102
5.11.4 Cálculo y selección del inversor.....	103
5.11.5 Diagrama de bloques.....	105
5.11.6 Diagrama unifilar .....	105
5.12 Análisis económico del SFV.....	106
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>
<b>CAPÍTULO 8 ANEXOS.....</b>	<b>117</b>



## Índice de tablas

Países miembros de la OCDE	55
Resultados del proyecto de aires acondicionados en distintos estados.	57
Características eléctricas bajo condiciones NOCT y SCT de los módulos fotovoltaicos. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Equipos utilizados dentro del reflexionario “Mocambo”.	99
Valores de irradiación para la ciudad de Boca del Río, Veracruz.	101
Datos del panel fotovoltaico utilizados.	103
Datos del inversor utilizado en el proyecto.	104
No. De módulos en serie.	104
Análisis económico del proyecto.	106
Tabla para determinar la variación de los voltajes y corriente en la potencia de los módulos. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Guía para determinar la variación de los voltajes y corriente en la potencia de los módulos. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Valores de resistencia eléctrica por km. De longitud.	120

## Índice de ilustraciones.

Ilustración 1.1-1 (a) Esquema de una instalación hidroeléctrica. (b) Fotografía de una presa, parte del esquema de una instalación hidroeléctrica. (Fuente: Domínguez, 2012).....	20
Ilustración 1.2-11 Diferentes tipos de turbinas eólicas. Fuente: Roldan, 2008.....	23
Ilustración 1.2-2 Turbinas eólicas de tres aspas. Fuente: González, 2009.....	23
Ilustración 1.2-3 Partes que componen una turbina eólica de tres aspas. Fuente: Roldan, 2008.....	24
Ilustración 1.3-1 Extracción de vapor para la rotación de una turbina. Fuente: González, 2009.....	25
Ilustración 1.4-1 Proceso simple para la obtención de la energía biomasa. Fuente: Domínguez, 2012.....	27
Ilustración 1.6-1 Ciclo del biodiesel. Fuente: Domínguez, 2012.....	29
Ilustración 1.7-1 Proceso de generación de electricidad utilizando el movimiento de las olas. Fuente: Domínguez, 2012.....	31
Ilustración 1.8-1 Esquema de instalación de un calentador de agua a base de energía solar a baja temperatura. Fuente: Almanzar, 1994.....	33
Ilustración 1.8-2 Esquema de colectores solares de concentración. Fuente: Juglar, 2011.....	34
Ilustración 1.8-3 Celdas fotovoltaicas. Fuente: Juglar, 2011.....	35
Ilustración 1.8-4 El efecto fotovoltaico. Fuente: Almanza, 1994.....	36
Ilustración 1.8-5 Unión P-N. Fuente: Almanza, 1994.....	37
Ilustración 1.8-6 Tipos de células solares. Fuente: Almanza, 1994.....	38
Ilustración 1.8-7 Partes de un módulo fotovoltaico. Fuente: Domínguez, 2012.....	39
Ilustración 1.8-8 Diseño de una instalación de conexión aislada. Fuente: Almanza, 1994.....	41
Ilustración 1.8-9 Componentes que afectan la radiación solar. Fuente: Almanza, 1994.....	43
Ilustración 1.8-10 Geometría solar. Fuente: Alcocer, 1994.....	44
Ilustración 1.8-11 Altura solar y valor AM correspondiente según la posición del sol.....	45
Ilustración 1.11-1 Altura Capacidad Instalada de Generación Eléctrica.....	56
Ilustración 1.12-1 La energía geotermoeléctrica, la de mayor capacidad.....	60
Ilustración 1.12-2 Capacidad instalada hasta el 2010 (Excluye Exportación e Importación).....	61
Ilustración 3.2-1 Croquis de la localización de las instalaciones de la USBI. Fuente: Google maps.....	81
Ilustración 3.2-2 Evento cultural dentro del reflexionario “Mocambo”.....	81
Ilustración 4.1-1 Imagen del transformador IEM tipo pedestal de 500 kVA.....	83
Ilustración 4.2-1 Analizador de redes, marca AEMC modelo 3945 – B.....	83



<i>Ilustración 4.3-1 a) Gráfica de variación de voltaje en las 3 líneas del transformador de 750 kVA registrada en el 2015. b) Gráfica d variación de voltaje en las 3 líneas del transformador de 750 kVA tomada en el año 2011.</i>	86
<i>Ilustración 4.3-2 (a) Variación de corriente obtenida en el 2015. (b) Variación de corriente obtenida en el año 2011. Gráficas del comportamiento del amperaje en cada fase para el transformador de 750 kVA.</i>	86
<i>Ilustración 4.3-3 (a) Datos copilados en junio del 2015. (b) Datos obtenidos en agosto del 2011. Ilustración de la distorsión total armónica de voltaje y corriente en el transformador de 750 kVA.</i>	88
<i>Ilustración 4.3-4 (a) Datos recopilados en junio del 2015. (b) Datos obtenidos durante el año 2011. Gráficas que muestran la potencia real, potencia aparente y potencia reactiva en el transformador de 750 kVA.</i>	89
<i>Ilustración 4.4-1 (a) Voltaje registrado durante junio 2015. (b) Voltaje capturado durante el año 2011. Gráficas de variación de voltaje en las 3 líneas del transformador de 500 kVA.</i>	90
<i>Ilustración 4.4-2 (a) Comportamiento de la corriente durante el 2015. (b) Variación de la corriente registrada en el 2011. Gráficas de la corriente medida en el transformador de 500 kVA.</i>	91
<i>Ilustración 4.4-3 (a) Valores obtenidos en la auditoría realizada en junio del 2015. (b) Valores obtenidos en la autoría realizada en agosto del 2011. Gráficas del comportamiento de la distorsión total armónica de voltaje y corriente.</i>	92
<i>Ilustración 4.4-4 (a) Datos recopilados en junio del 2015. (b) Datos obtenidos durante el año 2011. Gráficas que muestran la potencia real, potencia aparente y potencia reactiva en el transformador de 500 kVA.</i>	93
<i>Ilustración 4.4-5 Equipo marca "Kill-a-Watt".</i>	95
<i>Ilustración 4.4-6 Cantidad de equipos electrónicos personales en la FIUV.</i>	96
<i>Ilustración 4.4-7 Consumo energético en kWh</i>	96
<i>Ilustración 4.4-8 Costo por el consumo.</i>	97
<i>Ilustración 4.4-9-Consumo eléctrico de la FIUV.</i>	97
<i>Ilustración 4.5-1 Consumption of watts by gadget.</i>	98
<i>Ilustración 4.6-1 Consumo de los principales equipos utilizados.</i>	100
<i>Ilustración 4.7-1 Diagrama de bloques del SFV para la cafetería de la USBI, campus Veracruz.</i>	105
<i>Ilustración 4.7-2 Diagrama unifilar propuesto.</i>	106

## *Dedicatoria*

### *A mi familia:*

*Le dedico éste trabajo a mi familia, que siempre me ha apoyado estando ahí para mí. Cada paso que he dado y que daré en toda mi vida es gracias a ustedes. Cada éxito, cada logro, cada paso avanzado es y también suyo. Gracias por su esfuerzo, sé que ha habido muchísimos sacrificios para ayudarnos a mi hermana y a mí a salir adelante, con nada puedo pagar todo lo que han dado para que jamás nos falte nada, especialmente su cariño. Ha costado, pero de no ser por su amor, no estaría en éste momento de mi vida. Siempre serán la base de mi existir, aunque haya distancia siempre están presentes. Gracias por amarme.*

*A ti Mamá, pues has estado en cada caída, en cada sonrisa, en cada instante cuidando de mis pasos. Gracias por entenderme, consentirme, aconsejarme y consolarme. Gracias a Dios que me ha dado el regalo de tu amor, y siempre de tu mano sé que llegaré lejos. Fuiste quien me acompañó al empezar ésta aventura, por ti salí adelante y esto es también tuyo. Los amo.*

### *A mis amigos:*

*A Steven y Uriel, pues en los momentos de más estrés me han sabido entender y aguantar en algunos momentos, son los amigos en Cristo que cualquiera podría desear. Espero seguir creciendo junto a ustedes, que haya más misiones, más apostados y más aventuras que contar a nuestros nietos.*

*A Fernando, pues has sido un cachito de Dios que me ha llevado a dar pasos firmes, a poder aprender y crecer en lo personal. Tu comprensión y amistad han sido fundamentales para poder terminar esta etapa. Confío en que siempre seguiremos apoyándonos donde sea que estemos, y que de la mano de Dios cada viaje que emprendamos llegue a buen puerto. He aprendido mucho de ti, gracias por ver más allá y ayudarme a ser mejor.*

### *A mi asesor:*

*Dr. Vidal, le agradezco su apoyo constante en éste tiempo, pues desde el primer día me ha guiado. De no ser por su ayuda y comprensión no habría sido posible la culminación de éste posgrado. Gracias por sus consejos, por siempre cuidar no sólo lo escolar sino también lo personal, y más que nada, gracias por su amistad.*



## Resumen

Se realizó una auditoría energética a la cafetería que se encuentra actualmente laborando dentro de la cafetería de la Unidad de Sistemas Bibliotecarios y de Información (USBI) de la Universidad Veracruzana (UV), con el objetivo de conocer la calidad de energía con que se abastece, tener un recuento de los equipos que se encuentran laborando en ella y obtener el consumo energético resultante de las labores diarias de dicha área. Aunado con lo anterior, se diseñó un sistema de paneles fotovoltaicos que pudieran suministrar la energía eléctrica necesaria para satisfacer las necesidades energéticas del área de cafetería, incluyendo luminarias, contactos y ventiladores, que promuevan el uso de energías renovables dentro de la comunidad estudiantil de la UV y reflejen un ahorro económico para la facturación eléctrica.

Así mismo se aplicó una encuesta para conocer la cantidad de energía que se gasta por parte de la comunidad estudiantil, con la finalidad de conocer el impacto energético que se tiene por parte de los usuarios al utilizar indiferentemente los puntos de energía que se aprovechan dentro de las instalaciones de la UV.

## Abstract

An energy study was performed at a cafeteria, which is currently located inside of the library "Unidad de Sistemas Bibliotecarios y de Información" (USBI) of the Universidad Veracruzana (UV), looking for knowing the quality of the supplied energy to it, make a list of the electric and electronic equipment that are used and get the energy consumption resulting from the daily work in this area. Also a system of photovoltaic panels that could provide the electricity needed to meet the energy needs of the cafeteria, including fixtures, electric outlets and fans, in order to promote the use of renewable energy within the student community and reflect a cost savings for electricity billing.

Further more, a survey was applied, in order to know the amount of energy expended by the student community. In addition, a comparison of consumption of the electrical equipment was made to verify the electrical power used inside this facilities, looking for confirm the information provided by its manufacturer against the measured value.

# **CAPÍTULO 1**

---

## **Planteamiento**

### **General**

---



## 1.1 Planteamiento del problema.

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha elevado a un ritmo superior al crecimiento económico, ya que permite solventar las necesidades de la población, siendo relacionado también con mejores niveles de vida y un confort mayor para la sociedad.

Ante la situación energética actual, los aumentos globales del consumo de energía eléctrica y en consecuencia las tarifas eléctricas, el derroche de energía y el desinterés que se tiene de la misma, así como la falta de inversión para mejorar dicho servicio, ha hecho cada vez más palpable la necesidad de aplicar diferentes tipos de generación de energía.

En el Estado de Veracruz, el aumento en la demanda eléctrica ha sido continuo, mientras que la construcción de nuevas plantas generadoras y la ampliación de las que se encuentran en operación se ha visto superada. Además, la energía eléctrica es la fuerza que sustenta a la mayor parte de los sectores productivos, pero su generación depende en gran medida del uso de recursos no renovables, lo que origina un problema adicional: la emisión de contaminantes que afectan a la humanidad.

Por tal razón, las empresas públicas y privadas, en especial el sector industrial, se ven en la necesidad de implementar estrategias que les permitan incluir programas de ahorro e implementar distintos tipos de suministro energético, pero desafortunadamente, implementar estas estrategias requiere la inversión de recursos técnicos, económicos y humanos que en pocas ocasiones se cuenta con la posibilidad de implementar.

Así mismo, debido a la falta de cultura de ahorro en la sociedad hace que el consumo eléctrico no sea controlado, es común encontrar tanto en la industria como en los hogares personas que utilizan equipos eléctricos sin pensar en cuanto consumen, inclusive energizando sus aparatos en lugares públicos como escuelas, cafeterías u oficinas administrativas tanto gubernamentales como públicas, haciendo uso del recurso energético de forma excesiva en algunos casos.

La concientización sobre el uso de las instalaciones de energización eléctrica de parte del personal que más utiliza los equipos eléctricos y electrónicos dentro de las labores diarias es cada día más relevante, pues un uso racional y eficiente de la misma ayuda a reducir la facturación eléctrica y a cuidar el medio ambiente de forma inmediata. La Universidad Veracruzana (UV), siendo un semillero de profesionistas, cuenta con la oportunidad de impactar dentro de sus estudiantes de forma positiva, al compartirles la concientización del uso energético, pues en ellos se encuentra el futuro laboral del país.

En la UV, al igual que en todas las entidades educativas, una reducción y ahorro económico permite tener ahorros en utilizar estos recursos para ampliar la calidad del servicio educativo y solventar distintas necesidades en la comunidad estudiantil, lo cual



convierte en una prioridad el realizar y promover auditorías energéticas que permitan conocer la actualidad de los equipos que se utilizan.

Las características de las actividades que en esa Institución se realizan requiere que se mantengan luminarias prendidas la mayor parte del día, utilizándose de manera permanente equipos de trabajo refrigeradores, cafeteras, despachador de agua, impresoras, etc. Las computadoras y otros equipos (fotocopiadoras e impresoras) suelen estar encendidos todo el día y en stand by durante la noche; lo que se traduce en un alto consumo de energía eléctrica ocasionando pérdidas económicas en los ingresos propios de la Institución y un impacto nocivo al medio ambiente.

La cafetería de la USBI se encuentra en una zona con temperaturas elevadas y el consumo de energía eléctrica es mayor debido a la climatización del lugar. Por tal motivo, también se disminuir la carga térmica al interior de la misma proponiendo sistemas pasivos como sombreado natural, artificial e incluso la sombra de los mismos paneles fotovoltaicos.

## **1.2 Justificación.**

El tema del ahorro y uso eficiente de la energía, bajo el concepto de eficiencia energética, es un recurso que adquiere vigencia a raíz de los problemas del calentamiento global, generando como consecuencia la contaminación ambiental, como por ejemplo con el aumento de los gases de efecto invernadero, cuyo objeto se enmarca en el planteamiento de soluciones y aplicación de medidas factibles y detener el deterioro ambiental del planeta. Aunado a lo anterior, cada vez toma mayor relevancia la necesidad de encontrar nuevas formas que satisfagan las necesidades energéticas de nuestra sociedad utilizando métodos cada vez más amigables con el medio ambiente.

En lugares de clima caluroso, como la ciudad de Veracruz, es indispensable optimizar el uso de la energía eléctrica que se utilizan dentro de cualquier instalación, debido a que el uso de aire acondicionado eleva la facturación por consumo eléctrico, siendo necesario encontrar los puntos de ahorro si se busca optimizar el recurso económico. Por tal motivo, en este proyecto se pretende suministrar la energía eléctrica para iluminación y motores (electrodoméstico) y disminuir la carga térmica al interior de la misma proponiendo sistemas pasivos como sombreado natural, artificial e incluso la sombra de los mismos paneles fotovoltaicos, primeramente, aplicando lo anterior a la cafetería que se encuentra dentro de la USBI.

Por lo anterior, y debido a la relevancia que tiene la USBI como fuente de información y de oportunidad de aprendizaje para los estudiantes de la Universidad Veracruzana, se tomó como base para proponer un sistema que provea de energía renovable que, además de ser amigable con el medio ambiente, logre dar un mayor confort a las personas que diariamente acuden a éstas instalaciones, lo cual ayudará a que más usuarios opten por utilizar los servicios que la USBI ofrece, y además, promover el uso de espacios sustentables no solo dentro de las personas que integran nuestra universidad, sino para la



sociedad en que vivimos, que cada día se ve más necesitada de cuidar el medio ambiente para futuras generaciones.

### 1.3 Objetivo General

Realizar dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos que logren abastecer el consumo de energía eléctrica que requiere la iluminación de la cafetería de la USBI, campus Veracruz.

### 1.4 Objetivos específicos

- Conocer la eficiencia energética del inmueble.  
Conocer el consumo energético de la cafetería, iluminación, aire acondicionado, consultar con proveedor el tipo de equipos que se utilizan y conocer la demanda energética.
- Realizar cálculos del dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos.  
Calcular las dimensiones y características que deben tener los paneles fotovoltaicos adecuados para solventar el gasto energético estudiado.
- Seleccionar la tecnología eléctrica y electrónica de los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.  
Investigar las opciones que se tienen en el mercado que cuenten con las características de trabajo requeridas sin elevar el costo en el proyecto.
- Realizar estudio económico del proyecto.  
Conocer el periodo de tiempo de recuperación de la inversión económica sobre el proyecto.

### 1.5 Hipótesis.

El dimensionamiento adecuado de un sistema de paneles fotovoltaicos permitirá un ahorro económico al suministrar sólo la energía eléctrica requerida a las luminarias y contactos presentes en las instalaciones del reflexionario de la USBI aprovechando la cantidad de energía solar presente en la ciudad de Boca del Río, Veracruz.



## 1.6 Introducción

El consumo energético en la sociedad crece de forma considerable año tras año, por lo que llegará un momento en que los recursos energéticos naturales de los que se dispone en la actualidad corran peligro de agotarse. Por otra parte, se tiene la necesidad de cuidar el medioambiente, pues algunas formas de generar energía lo impactan de forma negativa. Estas razones hacen que sea necesaria la búsqueda de nuevas fuentes alternativas para obtenerla, promoviendo la diversificación de la actual oferta de generación energética, de forma que se pueda hacer frente al incremento de consumo a la vez que se respete el medio ambiente.

Desde siempre el desarrollo de la humanidad ha estado determinado en gran medida por el recurso de las diferentes formas de energía, según las necesidades y disponibilidades de cada momento y lugar. Ya en sus inicios, los principales recursos estaban basados en la utilización de energías renovables en forma de biomasa, viento, agua y sol. Utilizados principalmente como fuente de combustible, estos elementos deben ser considerados como la base energética del desarrollo humano.

Las energías renovables son la principal alternativa energética razonable en la actualidad. En sentido estricto, es renovable cualquier proceso que no altere el equilibrio térmico del planeta, que no genere residuos irre recuperables, y que la velocidad de su consumo no sea superior a la velocidad de regeneración de la fuente energética y de la materia prima utilizada en el mismo. El fomento de las energías renovables conlleva múltiples beneficios: por un lado, mitiga la emisión de gases de efecto invernadero y, por el otro, contribuye a la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, además de buscar generar la energía que se requiere suministrar a la industria y a los hogares de una forma más económica y sustentable.

Dentro de las energías renovables, la que podríamos considerar más ecológica debido al bajísimo impacto ambiental que presenta y está llamada a ser una de las energías del futuro, es la energía solar. La energía solar fotovoltaica, consistente en la transformación de la energía procedente de la radiación solar en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos se caracterizan por reducir la emisión de agentes contaminantes, no necesitar ningún suministro exterior, presentar un reducido mantenimiento y utilizar para su funcionamiento un recurso, el sol, que es inagotable.

Así mismo, hoy en día es de gran importancia que todo ciudadano cuente con energía eléctrica y que las empresas que lo suministran presten un buen servicio, pero está en el consumidor aprovecharlo al máximo. La disponibilidad de energía es esencial para cualquier actividad humana, existiendo una correlación entre el desarrollo social y el consumo de energía. Para lograr un alto nivel de desarrollo de una sociedad se requiere necesariamente disponer de mucha energía, cuyo consumo sólo parcialmente puede ser



reducido por un uso más eficiente. El continuo crecimiento de cargas en las instalaciones existentes y la falta de mantenimiento adecuado, son causas del uso ineficiente de la energía.

Para poder conocer la cantidad de energía que consume una instalación eléctrica, se debe aplicar un diagnóstico energético, el cual es la aplicación en conjuntos de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con el que se utiliza la energía. Para conocer el comportamiento del consumo de las instalaciones eléctricas, es necesario llevar a cabo mediciones de parámetros de su consumo de energía y analizar toda esa información con el fin de obtener, en una primera aproximación las curvas de consumo de energía, factor de carga y el comportamiento de la corriente en la instalación eléctrica. Esto permite corregir las estimaciones de los parámetros de los usos finales de la energía por actividad propia de las instalaciones analizadas e ir recreando a través de las curvas de carga diaria el comportamiento energético de las instalaciones.

Dentro del diagnóstico energético, una parte importante es el levantamiento físico de la instalación eléctrica. El levantamiento eléctrico es un servicio orientado a conocer el estado físico, en el que se encuentran la instalación y equipos eléctricos existentes, es decir es un reconocimiento físico de la realidad de la instalación eléctrica.

Lo anterior lleva a reflexionar, sobre todo, si la sociedad tiene en cuenta que aunque un uso irracional de la energía eleva el costo por facturación eléctrica, y como **Miroso, et al., 2011** expresa, elevará el daño ambiental que se provoca por la generación de energía, pues el ser humano, como consumidor, busca satisfacer necesidades energéticas en forma excesiva a través de bienes y servicios.

**Wijaya & Tezuka, 2013** indica que son muchas las posibilidades de reducción del consumo de energía que se gasta en iluminación, desde el simple cambio de una lámpara, hasta la implementación de nuevos sistemas con equipamiento electrónico inteligente. Pensando en ello se ha desarrollado una tecnología de bajo consumo de energía, lámparas, balastos, controles electrónicos y sistemas de iluminación que ahorran energía, tienen una mayor duración y ayudan, de esta forma, a evitar riesgos de suministro. También los aparatos electrónicos han mejorado la eficiencia con la que trabajan, reduciendo así su consumo eléctrico.

En la sociedad de hoy en día, son pocas las personas que realizan un análisis de la cantidad de energía que consumirán los aparatos que desean adquirir antes de comprarlos, incluso no se toma en cuenta el aumento de la facturación eléctrica como consecuencia lógica al obtener más aparatos tecnológicos en el hogar o en la oficina.

**Miroso et al., 2011** argumenta que el aumento en el uso de aparatos, hace que la alimentación de los mismos sea solventada en plazas, escuelas, oficinas o lugares donde existe un flujo elevado de personas, debido a que se encuentra como una opción el tomar los contactos o facilidades que estén a la mano para energizarlos. Esto hace que la factura



sea solventa por terceros, que sin hacer un uso real de la energía eléctrica, lo cual se presenta como un problema que recae en la falta de cultura en el ahorro energético que hay colectivamente.

En la actualidad, una de las prioridades de la política energética de la mayoría de las naciones del mundo es lograr el más alto grado posible de eficiencia en su consumo de energía, acción que alivia en buena medida las presiones y los riesgos tanto de tipo económico como ecológico.

En el presente trabajo se identificaran los transformadores y cargas eléctricas con el objetivo de conocer, dar seguimiento al consumo energético y diseñar el sistema de paneles fotovoltaicos que logren satisfacer el consumo de la cafetería presente en la Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Información (USBI), de la Universidad Veracruzana, Campus Veracruz, con la finalidad de promover los espacios sustentables dentro de nuestra casa de estudios y encontrar un método de ahorro energético que apoye en el cuidado del medio ambiente.

### **1.7 Alcance.**

El alcance de éste proyecto fue el conocer el consumo energético de la cafetería de la USBI, iluminación, aire acondicionado, y así como la demanda energética de la misma. Así mismo, proponer un diseño de sistema de paneles fotovoltaicos e inversores necesarios para abastecer dicha demanda, analizar la tecnología eléctrica y electrónica de los sistemas fotovoltaicos y realizar un estudio económico para conocer el periodo de recuperación de la inversión.

Como complemento de la auditoría energética, se realizó una encuesta a un sector de la comunidad estudiantil de la UV para conocer el tipo de equipos que se energizan dentro de las instalaciones de la misma y comparar el consumo energético real contra el teórico mostrado por distintos tipos electrónicos.

# **CAPÍTULO 2**

---

## **Marco Teórico.**

---



Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. En el campo de la energía, la discusión energía alternativa-convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante este siglo. **González, 2009** menciona que las energías alternativas, aun siendo renovables, también son finitas, y como cualquier otro recurso natural tendrán un límite máximo de explotación. Por tanto, incluso aunque podamos realizar la transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo.

Es por ello por lo que surge el concepto del Desarrollo sostenible. Dicho modelo se basa en las siguientes premisas:

- El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo XXI.
- El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales y la fisión nuclear.
- La explotación extensiva de las fuentes de energía, proponiéndose como alternativa el fomento del autoconsumo, que evite en la medida de lo posible la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de energía eléctrica.

El Desarrollo Sustentable implica el aprovechamiento de fuentes de energía que se renuevan constantemente de manera natural. **Romero, 2010** indica que, como son los casos de la energía potencial del agua que se aprovecha en forma de hidroeléctrica, la energía cinética del viento o la energía solar que se recupera a través de sistemas fotovoltaicos o termo solares, entre otras. Las energías renovables son la mejor respuesta a la demanda generalizada de un modelo de progreso que no afecte a futuras generaciones. En lo concerniente al Cambio Climático, se mantiene el objetivo de una reducción en el volumen de gases de efecto invernadero, así como en la reducción y uso eficiente de combustibles fósiles, con el soporte de programas para mejorar la eficiencia energética y fomentar el desarrollo de fuentes renovables de energía.

El alcanzar un mayor aprovechamiento del potencial existente en la naturaleza de fuentes renovables para la generación de energía, contribuiría de manera importante a la conservación y uso eficiente de nuestros recursos energéticos no renovables, a la diversificación de la oferta energética, a proteger al medio ambiente reduciendo el impacto negativo de la combustión de combustibles fósiles y en ocasiones, al aprovechamiento de desperdicios, así como al impulso de desarrollos regionales.



La producción de energías limpias, alternativas y renovables no es por tanto una cultura o un intento de mejorar el medio ambiente, sino una necesidad a la que el ser humano se va a ver abocado, independientemente de nuestra opinión, gustos o creencias. Algunas de las energías renovables que se manejan en la actualidad son las siguientes:

- Energía Hidroeléctrica.
- Energía Eólica.
- Energía Geotérmica.
- Energía Biomasa.
- Energía con etanol y biodiesel.
- Energía de las olas o energía undimotriz.
- Energía solar.

## 2.1 Energía Hidroeléctrica.

Es la energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. **Perales, 2008** menciona que la hidroelectricidad es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua. Su desarrollo requiere construir embalses, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos, aunque el coste de mantenimiento de una central térmica, debido al combustible, sea más caro que el de una central hidroeléctrica. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales centra la atención en estas fuentes de energía renovables.

### 2.1.1 Historia

Los antiguos romanos y griegos aprovechaban ya la energía del agua; utilizaban ruedas hidráulicas para moler trigo. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación generalizada hasta el siglo XII. **Alcocer, 2008** señala que durante la edad media, las grandes ruedas hidráulicas de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos. La energía hidroeléctrica debe su mayor desarrollo al ingeniero civil británico John Smeaton, que construyó por vez primera grandes ruedas hidráulicas de hierro colado.

La hidroelectricidad tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial. Impulsó las industrias textil y del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible. La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América hasta la construcción de canales a mediados del siglo XIX, que proporcionaron carbón a bajo precio.



Las presas y los canales eran necesarios para la instalación de ruedas hidráulicas sucesivas cuando el desnivel era mayor de cinco metros. La construcción de grandes presas de contención todavía no era posible; el bajo caudal de agua durante el verano y el otoño, unido a las heladas en invierno, obligaron a sustituir las ruedas hidráulicas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

### 2.1.2 Desarrollo de la energía hidroeléctrica

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

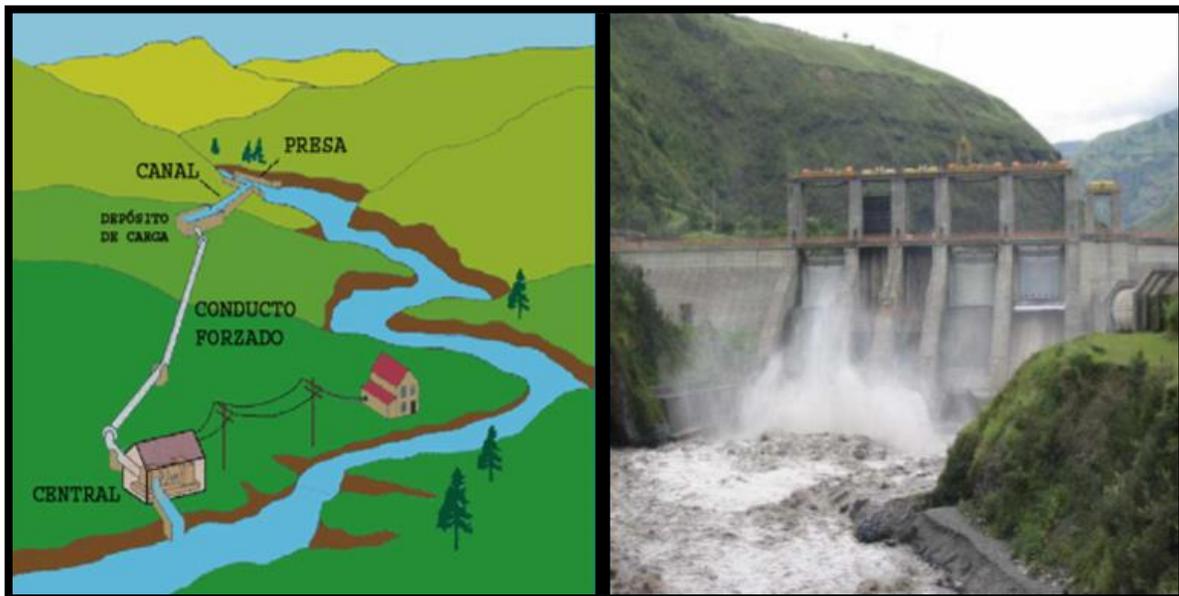
La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas y turbinas para adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. El agua que entra en la turbina sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y conectados con árboles verticales. El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Pelton para grandes saltos con pequeños caudales, turbinas Francis se utilizan para saltos medios con caudales medios y, las turbinas Kaplan para saltos pequeños con grandes caudales.

A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos. **Perales, 2008** dice que Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. Como referencia, la presa Grand Coulee, en Estados Unidos, genera unos 6.500 MW y es una de las más grandes.

En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. En muchas regiones de China, por ejemplo, estas pequeñas presas son la principal fuente de electricidad. Otras naciones en vías de desarrollo están utilizando este sistema con buenos resultados.

A nivel mundial se considera que el potencial de generación de energía eléctrica de esta fuente es muy elevada. Sin embargo las grandes infraestructuras hidroeléctricas son responsables de transformaciones al ecosistema local, razón por la cual en la actualidad la hidroelectricidad mundial utiliza tan solo el 18% del potencial técnico los países en vías de

desarrollo, esta cifra se reduce considerablemente, biodiversidad y también pueden tener efectos sociales adversos al desplazar a las poblaciones locales.



(a)

(b)

Ilustración 2.1-1(a) Esquema de una instalación hidroeléctrica. (b) Fotografía de una presa, parte del esquema de una instalación hidroeléctrica. (Fuente: Domínguez, 2012)

La capacidad hidroeléctrica instalada en el continente americano es de 99,000 MW en EUA, 65,000 MW en Canadá y 122,000 MW en LAC (10,000 MW México), y representa el 41 % del total mundial, tal como **González, 2009** lo refiere.

Las instalaciones hidroeléctricas son intensivas en capital, pero el coste de la electricidad producida es baja. En contraste, en los proyectos mini hidráulicos los impactos ambientales y sociales son mínimos, pero los costos de generación de electricidad se incrementan generalmente.

## 2.2 Energía Eólica

La energía eólica es la energía producida por el viento. La primera utilización de la capacidad energética del viento la constituye la navegación a vela. **Escudero, 2008** dice que en la energía eólica, la fuerza del viento se utiliza para impulsar un barco. Barcos con velas aparecían ya en los grabados egipcios más antiguos (3000 a.C.). Los egipcios, los fenicios y más tarde los romanos tenían que utilizar también los remos para contrarrestar una característica esencial de la energía eólica, su discontinuidad. Efectivamente, el viento cambia de intensidad y de dirección de manera impredecible, por lo que había que utilizar los remos en los períodos de calma o cuando no soplaba en la dirección deseada. Hoy, en



los parques eólicos, se utilizan los acumuladores para producir electricidad durante un tiempo, cuando el viento no sopla.

Otra característica de la energía producida por el viento es su infinita disponibilidad en función lineal a la superficie expuesta a su incidencia. En los barcos, a mayor superficie velica mayor velocidad. En los parques eólicos, cuantos más molinos haya, más potencia en bornes de la central. En los veleros, el aumento de superficie velica tiene limitaciones mecánicas (se rompe el mástil o vuelca el barco). En los parques eólicos las únicas limitaciones al aumento del número de molinos son las urbanísticas. El Molino es una máquina que transforma el viento en energía aprovechable. Esta energía proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de molino de viento. Si se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento.

### 2.2.1 Historia

Los primeros molinos movidos por el viento tienen un origen remoto. En el siglo VII d.C. ya se utilizaban molinos elementales en Persia (hoy, Irán) para el riego y moler el grano. En estos primeros molinos la rueda que sujetaba las aspas era horizontal y estaba soportada sobre un eje vertical. Estas máquinas no resultaban demasiado eficaces, pero aun así se extendieron por China y el oriente próximo.

En Europa los primeros molinos aparecieron en el siglo XII en Francia e Inglaterra y se distribuyeron por el continente. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento.

**Escudero, 2008** indica que el molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje del molino y la maquinaria superior del mismo.

Estos primeros ejemplares tenían una serie de características comunes. De la parte superior del molino sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera. La energía generada por el giro del eje se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria del molino emplazada en la base de la estructura.

### 2.2.2 Aplicaciones y desarrollo

Además de emplearse para el riego y moler el grano, los molinos construidos entre los siglos XV y XIX tenían otras aplicaciones, como el bombeo de agua en tierras bajo el nivel del mar, aserradores de madera, fábricas de papel, prensado de semillas para producir



aceite, así como para triturar todo tipo de materiales. En el siglo XIX se llegaron a construir unos 9,000 molinos en Holanda.

**Fernández, 2009** menciona que el avance más importante fue la introducción del abanico de aspas, inventado en 1745, que giraba impulsado por el viento. En 1772 se introdujo el aspa con resortes. Este tipo de aspa consiste en unas cerraduras de madera que se controlan de forma manual o automática, a fin de mantener una velocidad de giro constante en caso de vientos variables. Otros avances importantes han sido los frenos hidráulicos para detener el movimiento de las aspas y la utilización de aspas aerodinámicas en forma de hélice, que incrementan el rendimiento de los molinos con vientos débiles.

El uso de las turbinas de viento para generar electricidad comenzó en Dinamarca a finales del siglo pasado y se ha extendido por todo el mundo. Los molinos para el bombeo de agua se emplearon a gran escala durante el asentamiento en las regiones áridas del oeste de Estados Unidos. Pequeñas turbinas de viento generadoras de electricidad abastecían a numerosas comunidades rurales hasta la década de los años treinta, cuando en Estados Unidos se extendieron las redes eléctricas. También se construyeron grandes turbinas de viento en esta época.

### 2.2.3 Turbinas de viento modernas

Las modernas turbinas de viento se mueven por dos procedimientos: el arrastre, en el que el viento empuja las aspas, y la elevación, en el que las aspas se mueven de un modo parecido a las alas de un avión a través de una corriente de aire. Las turbinas que funcionan por elevación giran a más velocidad y son, por su diseño, más eficaces. Las turbinas de viento pueden clasificarse en turbinas de eje horizontal, en las que los ejes principales están paralelos al suelo y turbinas de eje vertical, con los ejes perpendiculares al suelo, tal como **Roldan, 2008** lo indica. Las turbinas de ejes horizontales utilizadas para generar electricidad tienen de una a tres aspas, mientras que las empleadas para bombeo pueden tener muchas más. Entre las máquinas de eje vertical más usuales destacan las Savonius, cuyo nombre proviene de sus diseñadores, y que se emplean sobre todo para bombeo; y las Darrieus, una máquina de alta velocidad que se asemeja a una batidora de huevos.

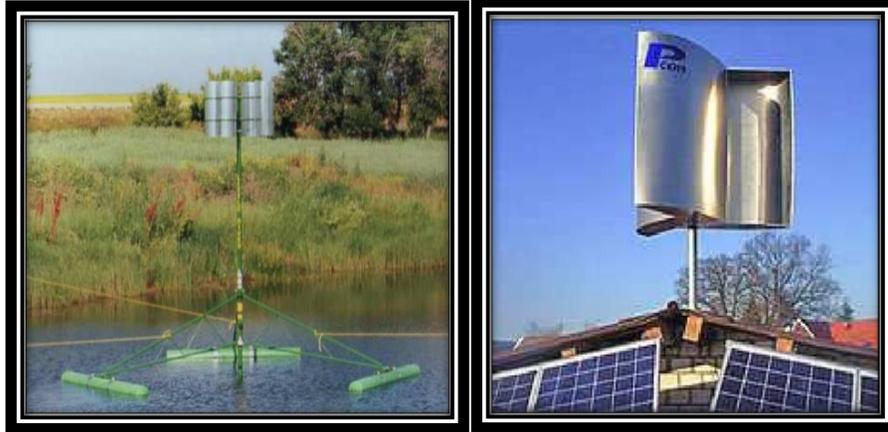


Ilustración 2.2-11 Diferentes tipos de turbinas eólicas.  
(Fuente: Roldan, 2008).

#### 2.2.4 Generadores eléctricos

Los científicos calculan que hasta un 10% de la electricidad mundial se podría obtener de generadores de energía eólica a mediados del siglo XXI. Los generadores de turbina de viento tienen varios componentes. El rotor convierte la fuerza del viento en energía rotatoria del eje, una caja de engranajes aumenta la velocidad y un generador transforma la energía del eje en energía eléctrica. En algunas máquinas de eje horizontal la velocidad de las aspas puede ajustarse y regularse durante su funcionamiento normal, así como cerrarse en caso de viento excesivo. Otras emplean un freno aerodinámico que con vientos fuertes reduce automáticamente la energía producida. Las máquinas modernas comienzan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de unos 19 km/h, logran su máximo rendimiento con vientos entre 40 y 48 km/h y dejan de funcionar cuando los vientos alcanzan los 100 km/h. **González, 2009** afirma que los lugares ideales para la instalación de los generadores de turbinas son aquellos en los que el promedio anual de la velocidad del viento es de cuando menos 21 km/h.

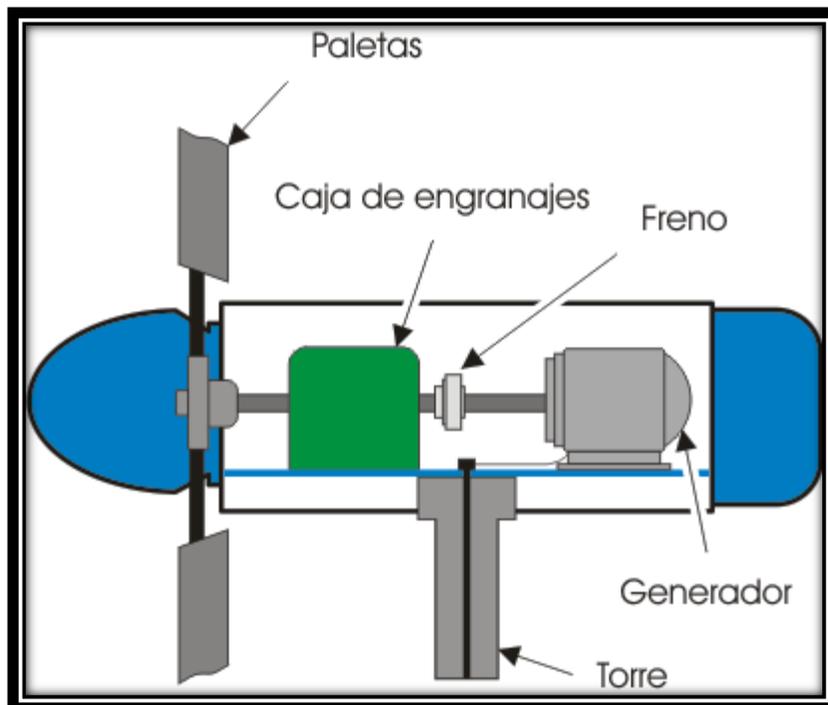


Ilustración 2.2-2 Turbinas eólicas de tres aspas. (Fuente: González, 2009).



**González, 2009** comenta que la energía eólica, que no contamina el medio ambiente con gases ni agrava el efecto invernadero, es una valiosa alternativa frente a los combustibles no renovables como el petróleo. Los generadores de turbinas de viento para producción de energía a gran escala y de rendimiento satisfactorio tienen un tamaño mediano (de 15 a 30 metros de diámetro, con una potencia entre 100 y 400 KW). Algunas veces se instalan en filas y se conocen entonces como granjas de viento. En California se encuentran algunas de las mayores granjas de viento del mundo y sus turbinas pueden generar unos 1,120 MW de potencia (una central nuclear puede generar unos 1,100 MW).

El precio de la energía eléctrica producida por ese medio resulta competitivo con otras muchas formas de generación de energía. En la actualidad Dinamarca obtiene más de los 2% de electricidad por medio de turbinas de viento, también empleadas para aumentar el suministro de electricidad a comunidades insulares y en lugares remotos. En Gran Bretaña, uno de los países más ventosos del mundo, los proyectos de turbinas de viento, especialmente en Gales y en el noroeste de Inglaterra, generan una pequeña parte de la electricidad procedente de fuentes de energía renovable. En España se inauguró en el año de 1986 un parque eólico de gran potencia en Tenerife, Canarias. Más tarde se hicieron otras instalaciones en La Muela (Zaragoza), el Ampurdán (Gerona), Estaca de Bares (La Coruña) y Tarifa (Cádiz), ésta, dedicada fundamentalmente a la investigación. La energía eólica supone un 6% de la producción de energía primaria en los países de la Unión Europea.



**Ilustración 2.2-3**Partes que componen una turbina eólica de tres aspas. (Fuente: Roldan, 2008).



### 2.3 Energía Geotérmica

Geotermia es la rama de la geología que estudia el origen y distribución del calor interno de la Tierra. Su aplicación práctica principal es la localización de yacimientos naturales de agua caliente, fuente de la energía geotérmica, para su uso en generación de energía eléctrica, en calefacción o en procesos de secado industrial. El calor se produce entre la corteza y el manto superior de la Tierra, sobre todo por desintegración de elementos radiactivos. Esta energía geotérmica se transfiere a la superficie por difusión, por movimientos de convección en el magma (roca fundida) y por circulación de agua en las profundidades. Sus manifestaciones hidrotérmicas superficiales son, tal como **González, 2009** expresa entre otras, los manantiales calientes, los géiseres y las fumarolas. Los primeros han sido usados desde la antigüedad con propósitos terapéuticos y recreativos.

El vapor producido por líquidos calientes naturales en sistemas geotérmicos es una alternativa al que se obtiene en plantas de energía por quemado de materia fósil, por fisión nuclear o por otros medios. Las perforaciones modernas en los sistemas geotérmicos alcanzan reservas de agua y de vapor, calentados por magma mucho más profundo, que se encuentran mínimo a los 3.00 m bajo el nivel del mar. El vapor se purifica en la boca del pozo antes de ser transportado en tubos grandes y aislados hasta las turbinas. La energía térmica puede obtenerse también a partir de géiseres y de grietas.

La energía geotérmica se desarrolló para su aprovechamiento como energía eléctrica en 1904, en Toscana (Italia), donde la producción continúa en la actualidad. Los fluidos geotérmicos se usan también como calefacción en Budapest (Hungría), en algunas zonas de París, en la ciudad de Reykjavík, en otras ciudades Islandesas y en varias zonas de Estados Unidos.



Ilustración 2.3-1 Extracción de vapor para la rotación de una turbina. (Fuente: González, 2009).



En la actualidad, se está probando una técnica nueva consistente en perforar rocas secas y calientes situadas bajo sistemas volcánicos en reposo para luego introducir agua superficial que regresa como vapor muy enfriado. La energía geotérmica tiene un gran potencial: se calcula, basándose en todos los sistemas hidrotérmicos conocidos con temperaturas superiores a los 150 °C, que Estados Unidos podría producir 23.00 MW de potencia instalada en 30 años. En otros 18 países, la capacidad geotérmica total fue de 5.80 MW de potencia instalada en 1990.

## 2.4 Energía Biomasa

Abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. El término es utilizado con mayor frecuencia en las discusiones relativas a la energía de biomasa, es decir, al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo.

En algunos casos también es el recurso económico más importante, como en Brasil, donde la caña de azúcar se transforma en etanol, y en la provincia de Sichuán, en China, donde se obtiene gas a partir de estiércol, tal como **Fernández, 2009** destaca. Existen varios proyectos de investigación que pretenden conseguir un desarrollo mayor de la energía de biomasa, sin embargo, la rivalidad económica que plantea con el petróleo es responsable de que dichos esfuerzos se hallen aún en una fase temprana de desarrollo.

Los combustibles derivados de la biomasa abarcan varias formas diferentes, entre ellas los combustibles de alcohol, el estiércol y la leña. La leña y el estiércol siguen siendo combustibles importantes en algunos países en vías de desarrollo, y los elevados precios del petróleo han hecho que los países industrializados vuelvan a interesarse por la leña. Por ejemplo, se calcula que casi la mitad de las viviendas de Vermont (Estados Unidos) se calientan parcialmente con leña. Los científicos están dedicando cada vez más atención a la explotación de plantas energéticas, aunque existe cierta preocupación de que si se recurre a gran escala a la agricultura para obtener energía lo que podrían subir los precios de los alimentos.

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde entonces a toda aquella energía que puede obtenerse de ella, bien sea a través de su quema directa o su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible.

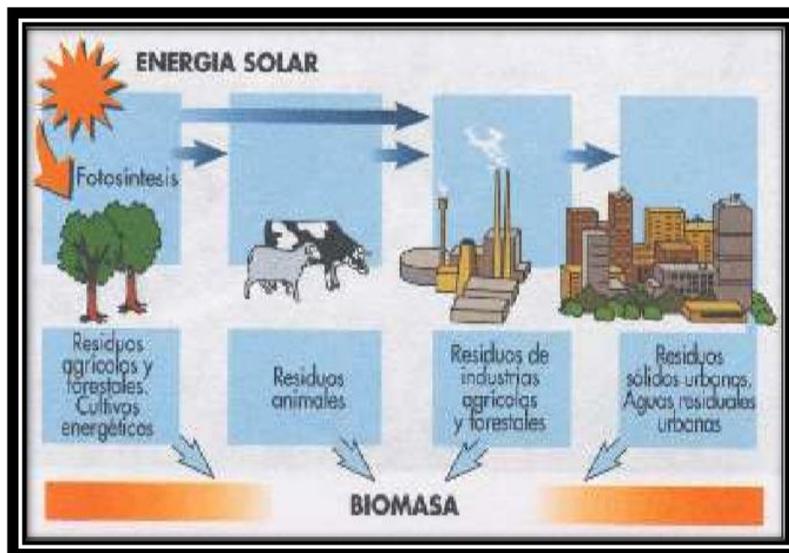


Ilustración 2.4-1 Proceso simple para la obtención de la energía biomasa. (Fuente: Domínguez, 2012).

En lo que se refiere a la biomasa, es cierto que almacena activamente el carbono del dióxido de carbono, formando su masa con él y crece mientras libera el oxígeno de nuevo, al quemarse vuelve a combinar el carbono con el oxígeno, formando de nuevo dióxido de carbono. Teóricamente el ciclo cerrado arrojaría un saldo nulo de emisiones de dióxido de carbono, al quedar las emisiones fruto de la combustión fijadas en la nueva biomasa, aunque el rendimiento imperfecto del ciclo hace que se hable más bien de emisiones reducidas frente a otras alternativas fósiles.

Por otro lado, también la biomasa no es realmente inagotable, aun siendo renovable. Su uso solamente puede hacerse en casos limitados. Existen dudas sobre la capacidad de la agricultura para proporcionar las cantidades de masa vegetal necesaria si esta fuente se popularizase.

## 2.5 Energía Mareomotriz

Se entiende por marea el movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones gravitatorias del Sol y de la Luna, aunque se ve asimismo influenciado por factores terrestres. Así, a pesar de que la diferencia entre los niveles más alto y más bajo ("amplitud de la marea") en mitad del océano es de apenas 1.00 m, en algunos puntos del globo llega a alcanzar hasta los 15.00 m. Por otro lado, la variación periódica de las pleamares y bajamares ("margen de la marea") es también muy diferente según el lugar geográfico. De esta forma, **Alcocer, 2008** considera que las mareas constituyen un fenómeno muy complejo que, aunque parezca una de las manifestaciones más potentes de la naturaleza, sólo está provocado por fuerzas de muy pequeña magnitud.



La utilización de la energía de las mareas, o energía mareomotriz, consiste simplemente en separar un estuario del mar libre mediante un dique y aprovechar la diferencia de nivel mar-estuario. Desde la antigüedad es conocida esta técnica, que ya fue aplicada para mover los primitivos molinos de marea egipcios. Su desarrollo histórico fue parecido al de los molinos hidráulicos, en el siglo XIII ya funcionaban algunas ruedas mareomotrices en Inglaterra y en el siglo XVIII aparecen varias instalaciones para moler grano y especias tanto en Francia como en EE.UU.

A partir del año 1920 se realizaron los primeros estudios a profundidad en Francia, URSS, Canadá y EE.UU., alcanzándose los primeros resultados prácticos en la construcción de centrales mareomotrices en Francia (1966) y la URSS (1968). Como sucedió con otras fuentes energéticas renovables aprovechadas desde la antigüedad, el interés decreció ostensiblemente al producirse la electricidad a bajo coste en las centrales térmicas, pero a raíz de las sucesivas crisis energéticas se ha vuelto a prestar una gran atención a esta fuente de energía.

## 2.6 Energía con etanol y biodiesel

El biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa - organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos.

El biodiesel y el bioetanol se producen a partir de cereales y sustituirán al menos parcialmente a los combustibles fósiles por su obligatoria mezcla por parte de Europa y su utilización preponderante por EE.UU.

Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón. **Gutiérrez, 2009** destaca que los biocombustibles más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiesel. El bioetanol, también llamado etanol de biomasa, se obtiene a partir de maíz, sorgo, caña de azúcar o remolacha. Brasil es el principal productor de bioetanol (45% de la producción mundial), Estados Unidos representa el 44%, China el 6%, la Unión Europea el 3%, India el 1% y otros países el restante 1%.

De acuerdo con **Gutiérrez, 2009**, el biodiesel se fabrica a partir de aceites vegetales, que pueden ser ya usados o no. En este último caso se suele usar raps, canola, soja o jatrofa, los cuales son cultivados para este propósito. El principal productor de biodiesel en el mundo es Alemania, que concentra el 63% de la producción. Le sigue Francia con el 17%, Estados Unidos con el 10%, Italia con el 7% y Austria con el 3%.

Al llevar el prefijo Bio, se tiende a pensar que no tiene consecuencias medioambientales. Pero, en el caso de los biocombustibles, esto no es cierto. Una de las causas es que, pese a que en su origen sólo se utilizaron los restos de otras actividades agrícolas para producir biocombustibles, con su generalización y fomento en occidente, muchos países subdesarrollados del sureste asiático están destruyendo sus selvas para crear plantaciones para biocombustibles. La consecuencia de esto es justo la contraria de lo que se desea



conseguir con los biocombustibles: los bosques y selvas limpian más el aire de lo que lo hacen los cultivos que se ponen en su lugar. Así, se puede decir que por una parte, los biocombustibles reemplazan el uso de combustibles que provocan la emisión de gases de efecto invernadero, pero por otra, su cultivo está reemplazando a elementos naturales que limpian el aire de gases de efecto invernadero.

Otra de las causas son los fertilizantes necesarios para los cultivos, el transporte de la biomasa, el proceso del combustible y la distribución del biocombustible hasta el consumidor. Algunos procesos de producción de biocombustible producen muchas menos emisiones que otros; por ejemplo, el cultivo de la caña de azúcar requiere el uso de menos fertilizantes que el cultivo del maíz, por lo que el bioetanol de caña de azúcar reduce las emisiones de gases de efecto invernadero con más efectividad que el bioetanol derivado del maíz. Sin embargo, aplicando las técnicas agrícolas y las estrategias de procesamiento apropiadas, los biocombustibles pueden ofrecer ahorros en las emisiones de al menos el 50% comparando con combustibles fósiles como el gasóleo o la gasolina.

### 2.6.1 Biodiesel

El biodiesel es 100 por ciento biodegradable, porque en menos de 21 días desaparece cualquier residuo en la tierra y su toxicidad es inferior a la de la sal de mesa. Y puede funcionar en cualquier motor diésel, y se presume que duplica la vida útil de los vehículos. Se usa mezclado con gasoil fósil (obtenido del petróleo), aunque esta combinación sólo reduce en 31% la exhalación de compuestos tóxicos. De acuerdo con **Alcocer, 2008**, en Estados Unidos, Francia, Alemania, Brasil y Argentina, ya usan biodiesel al incorporarlo a un motor convencional lo cual reduce las emisiones de monóxido de carbono, azufre, hidrocarburos aromáticos y partículas sólidas.



Ilustración 2.6-1 Ciclo del biodiesel. (Fuente: Domínguez, 2012).



## 2.6.2 Etanol

De acuerdo con **Alcocer, 2008**, sólo con políticas bien diseñadas se podrá lograr un programa exitoso, de producción y distribución de etanol para utilizarse como oxigenante o combustible. Sin embargo, será importante que, previamente, se instrumente medidas que garanticen su éxito y que permitan evitar perjuicios de tipo social, económico y/o social. Donde el etanol se considera como oxigenante, para vehículos sin ninguna modificación tecnológica, en la cantidad (36% del total requerido) que se puede producir con la caña de los excedentes de azúcar.

Y dar preferencia a los cultivos para la industria agroalimentaria con relación a la producción de etanol para utilizarse como combustible. En este sentido, la materia prima considerada como la que representa la mejor alternativa es la caña de azúcar, siguiéndole en importancia el sorgo y la cebada. Las emisiones de bióxido de carbono que se pueden reducir al sembrar cultivos para la producción de etanol, también puede reducirse con la siembra de cualquier otro tipo de cultivo y más aún en reforestación de bosques y selvas. Y asegurar la venta de etanol deshidratado a las refinerías para un mayor control y evitar su desvío a otros usos (bebidas alcohólicas).

Al mismo tiempo que se promueva el desarrollo de la industria del etanol, es necesario buscar oportunidades de mercado y realzar las reformas estructurales necesarias para fomentar la producción de fructuosa en los Estados Unidos Mexicanos, en donde también se verían favorecidos cerca de 3 millones de mexicanos que cultivan maíz. **González, 2009** indica que el impacto medioambiental y las consecuencias sociales de su previsible producción y comercialización masiva, especialmente en los países en vías de desarrollo o del Tercer Mundo es objeto de debate entre los especialistas y los diferentes agentes sociales y gubernamentales internacionales.

## 2.7 Energía de las olas o energía undimotriz.

Ésta ha sido acogida como la más prometedora fuente de energía renovable para los países marítimos. No causa daño ambiental y es inagotable.

Los parques energéticos marinos aprovechan las fuerzas naturales. Su principal ventaja, además de que la velocidad del viento en el océano es considerablemente más fuerte y predecible que en tierra firme, debido a que reducen el impacto medioambiental ocasionado habitualmente por la producción energética.

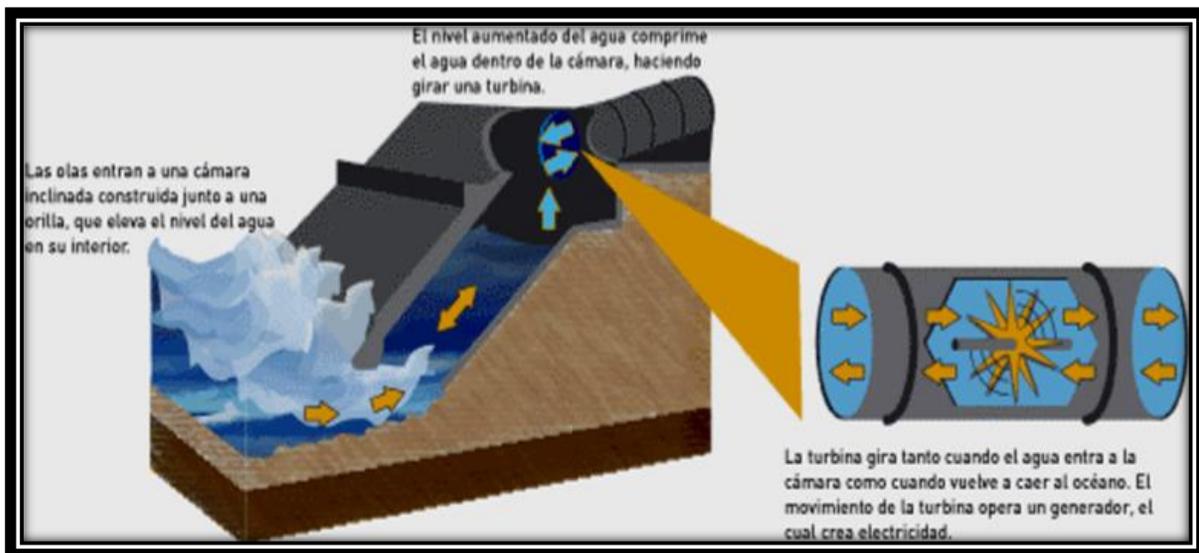


Ilustración 2.7-1 Proceso de generación de electricidad utilizando el movimiento de las olas. (Fuente: Dominguez,2012).

## 2.8 Energía solar

**Guardiola, 2008** dice que es la energía radiante producida con el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión; llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es  $1.37 \times 10^6$  erg/s/cm<sup>2</sup>, o unas 2 cal/min/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0.2% en un período de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

La energía solar, es una fuente de energía que a través de la utilización de celdas fotovoltaicas convierte en forma directa la energía lumínica en electricidad.

### 2.8.1 Recolección de energía solar

La recolección directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recolección de energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recolectada, se emplea en procesos térmicos o



fotoeléctricos, o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

### 2.8.2 Colectores de placa plana

En los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción. La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector. Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas coberturas transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 OC. y obtener entre el 40% y el 80% de eficiencia.

Según **González, 2009**, los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15° de latitud y se orientan unos 20° latitud Sur o 20° de latitud Norte.

Además de los colectores de placa plana, los sistemas típicos de agua caliente y calefacción están constituidos por bombas de circulación, sensores de temperatura, controladores automáticos para activar el bombeo y un dispositivo de almacenamiento. El fluido puede ser tanto el aire como un líquido (agua o agua mezclada con anticongelante), mientras que un lecho de roca o un tanque aislado sirven como medio de almacenamiento de energía.

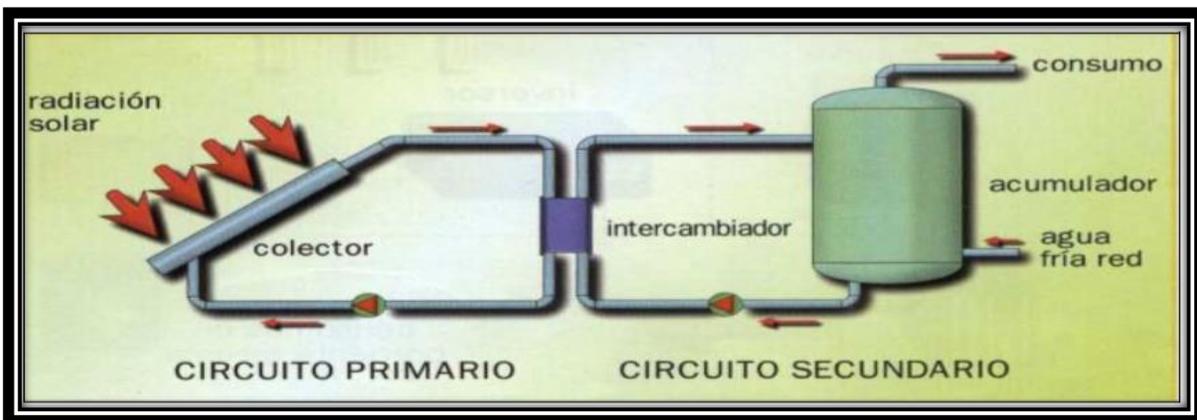


Ilustración 2.8-1 Esquema de instalación de un calentador de agua a base de energía solar a baja temperatura. (Fuente: Almanzar, 1994).

### 2.8.3 Colectores de concentración

Para aplicaciones como el aire acondicionado y la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales, los colectores de placa plana no suministran, en términos generales, fluidos con temperaturas bastante elevadas como para ser eficaces. Se pueden usar en una primera fase, y después el fluido se trata con medios convencionales de calentamiento. Como alternativa, **González, 2009** destaca que se pueden utilizar colectores de concentración más complejos y costosos. Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña.

Como resultado de ésta concentración, la intensidad de la energía solar se incrementa y las temperaturas del receptor (llamado 'blanco') pueden acercarse a varios cientos, o incluso miles, de grados Celsius. Los concentradores deben moverse para seguir al Sol si se quiere que actúen con eficacia; los dispositivos utilizados para ello se llaman helióstatos. Para aplicaciones como el aire acondicionado y la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales, los colectores de placa plana no suministran, en términos generales, fluidos con temperaturas bastante elevadas como para ser eficaces. Se pueden usar en una primera fase, y después el fluido se trata con medios convencionales de calentamiento. Como alternativa, se pueden utilizar colectores de concentración más complejos y costosos. Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña.

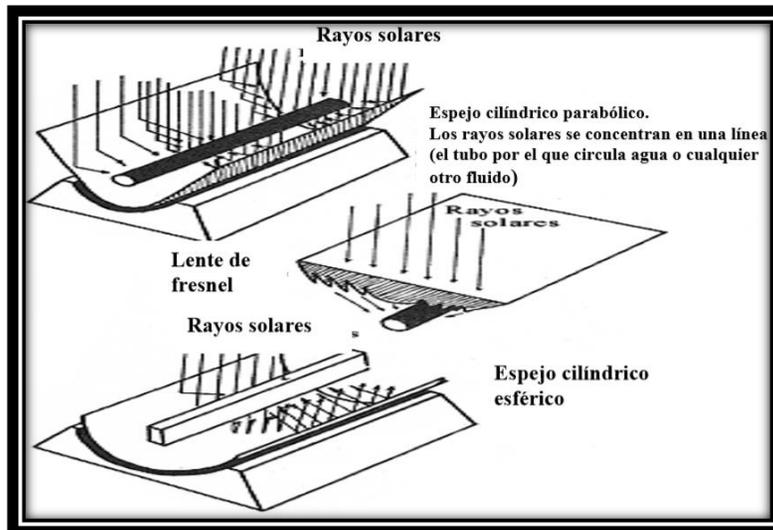


Ilustración 2.8-2 Esquema de colectores solares de concentración. (Fuente: Juglar, 2011).

#### 2.8.4 Células y paneles fotovoltaicos.

Las células fotoeléctricas son dispositivos basados en la acción de radiaciones luminosas sobre ciertos materiales, normalmente metales. (Guardiola, 2008) dice que el efecto de esas radiaciones puede ser de tres tipos:

- Efecto foto emisor o foto externo: Provoca un arranque de electrones con liberación de los mismos.
- Efecto foto conductor o foto interno: Modifica la conductividad eléctrica del material.
- Efecto fotovoltaico: Crea una fuerza electromotriz en el material.

Algunas de las ventajas fundamentales del uso de paneles fotovoltaicos según Juglar, 2011 son:

- No consume combustible
- No produce polución ni contaminación ambiental
- Es silencioso
- Tiene una vida útil superior a 20 años
- Es resistente a condiciones climáticas extremas: (granizo, viento, temperatura y humedad)
- No posee partes mecánicas, por lo tanto no requiere mantenimiento, excepto limpieza del panel.
- Permite aumentar la potencia instalada mediante la incorporación de nuevos módulos.

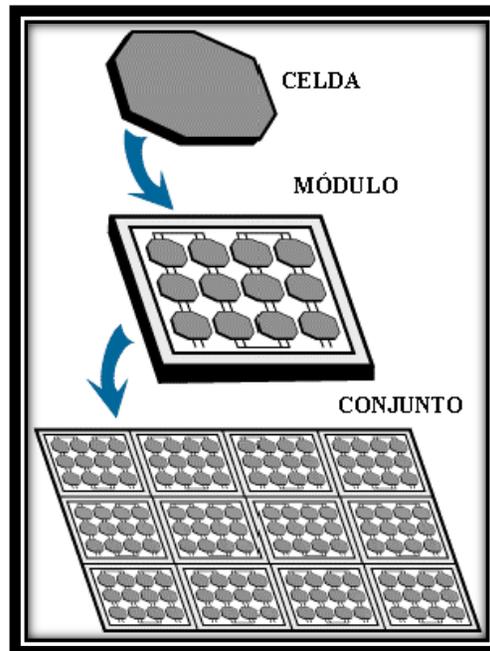


Ilustración 2.8-3 Celdas fotovoltaicas. (Fuente: Juglar, 2011).

Generalmente es utilizado en zonas excluidas de la red de distribución eléctrica, pudiendo trabajar en forma independiente o combinada con sistemas de generación eléctrica convencional. Sus principales aplicaciones son:

- Electrificación de inmuebles rurales: luz, TV, telefonía, comunicaciones, bombas de agua
- Electrificación de alambrados
- Alumbrado exterior
- Balizado y Señalización
- Protección catódica
- Náutica, Casas Rodantes, etc.

### 2.8.5 Efecto fotovoltaico.

La conversión fotovoltaica es un proceso físico que consiste en la transformación de la energía que proviene de la radiación electromagnética en energía eléctrica cuando es absorbida por un determinado material. Este proceso depende tanto de la intensidad de la radiación incidente como de las propiedades intrínsecas del material.

Como expresa **Moro, 2010**, existen ciertos materiales que al absorber un determinado tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas. Si la radiación electromagnética es la solar y el material es un semiconductor tal como el silicio (Si) los pares de carga que se forman son electrones (e-) y huecos (h+) que una vez producidos se mueven aleatoriamente en el volumen del sólido. Si no hay ningún condicionante externo ni interno, las cargas de signos opuestos se vuelven a combinar neutralizándose mutuamente.



Por el contrario, si mediante algún procedimiento se crea en el interior del material un campo eléctrico permanente, las cargas positivas y negativas serán separadas por él. Esta separación conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material que, si son conectadas entre sí mediante un circuito externo al mismo tiempo que la radiación electromagnética incide sobre el material, darán origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo. Este fenómeno se conoce como efecto fotovoltaico y es el fundamento en el que se basan las celdas fotovoltaicas.

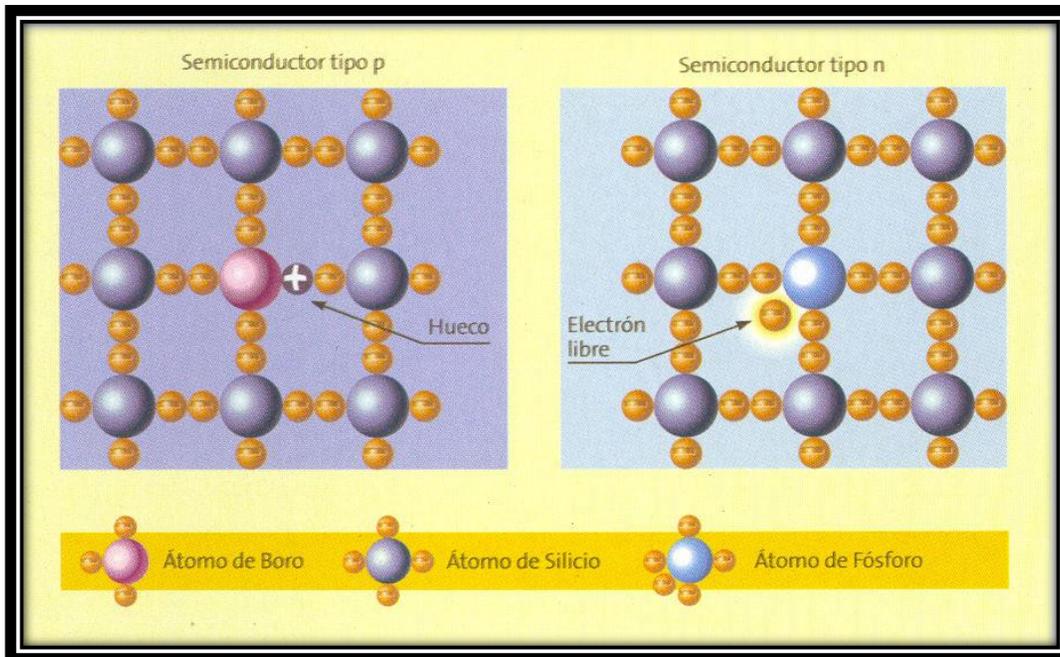


Ilustración 2.8-4 El efecto fotovoltaico. (Fuente: Almanza, 1994).

La unión p-n consiste en la unión de un semiconductor tipo p con un semiconductor tipo n. Al poner en contacto ambos semiconductores se origina un flujo de electrones desde el semiconductor n a los huecos del semiconductor p. Al ocurrir esto en la zona de transición van a quedar las cargas fijas, electrones cargados positivamente en la zona n y huecos cargados negativamente en la zona p, lo que origina la aparición de un dipolo eléctrico que produce un campo eléctrico dirigido de la zona n a la p que, a su vez, da lugar a una diferencia de potencial (barrera de potencial) a ambos lados de la zona de unión.

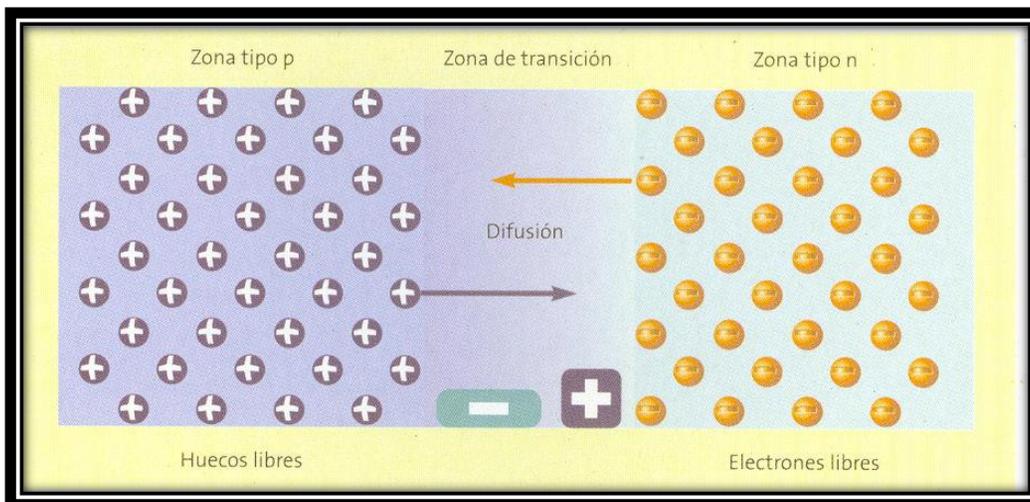


Ilustración 2.8-5 Unión P-N. (Fuente: Almanza, 1994).

El semiconductor con el que se realizan la mayoría de las células comerciales es el silicio al que se dopa con boro y fósforo para obtener la unión p-n. Para tomar contactos eléctricos, al semiconductor se le depositan dos láminas metálicas sobre ambas caras de la célula. En la cara iluminada la lámina se deposita en forma de rejilla pues se debe dejar al descubierto la mayor parte de su superficie para que penetre la luz en el semiconductor. Por contra el contacto eléctrico sobre la cara no iluminada cubre toda el área. La corriente fotovoltaica generada sale por el contacto p, atraviesa la carga y vuelve por el n.

### 2.8.6 Fabricación

La materia prima para la fabricación de las células fotovoltaicas más utilizada actualmente es el silicio. El silicio, tal como Casas, 2012 plantea, es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno, dado que la combinación de ambos forma el 60% de la corteza terrestre. Una célula comercial estándar, con un área de unos 100 cm<sup>2</sup>, suficientemente iluminada es capaz de producir una diferencia de potencial de 0.5 V y una potencia de 1,47 Wp.

### 2.8.7 Tipos de células solares.

Gabriel, 2006 indica dice que el silicio utilizado actualmente en la fabricación de las células que componen los módulos fotovoltaicos se presenta en tres formas diferentes:

- Silicio monocristalino. En este caso el silicio que compone las células de los módulos es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. El proceso de cristalización es complicado y costoso, pero sin embargo, es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica.



- Silicio policristalino. El proceso de cristalización no es tan cuidadoso y la red cristalina no es la misma en todo el material. Este proceso es más barato que el anterior pero se obtiene rendimientos ligeramente inferiores.
- Silicio amorfo. En el silicio amorfo no hay red cristalina y se obtiene un rendimiento inferior a los de composición cristalina. Sin embargo posee la ventaja, además de su bajo coste, de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para captar la luz solar.

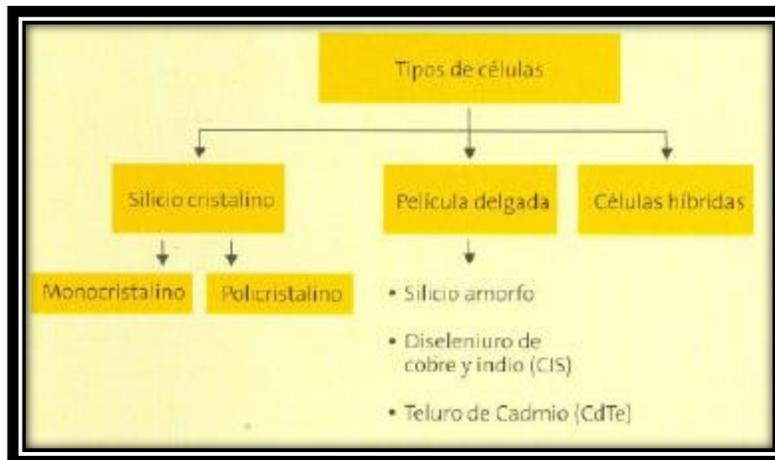


Ilustración 2.8-6 Tipos de células solares. (Fuente: Almanza, 1994),

Actualmente también existen otras tecnologías o procesos de aceptable rendimiento no todas basadas en el silicio, que se encuentran en fase de desarrollo en laboratorio o iniciando su fabricación en pequeñas plantas. Este es el caso del telurio de cadmio, arseniuro de galio, células bifaciales, etc.

### 2.8.8 Módulo fotovoltaico

A partir de las células, se pasa a la fabricación y ensamblaje de los módulos fotovoltaicos, que conocemos comercialmente. **Domínguez, 2012** describe que el módulo fotovoltaico consiste en la interconexión eléctrica de un determinado número de células solares de forma que la tensión y corriente suministrados se incrementen hasta ajustarse al valor deseado. La unión eléctrica puede ser en serie, se suman las tensiones unitarias manteniéndose fija la corriente, o en paralelo, se mantiene fija la tensión y se suman las corrientes. Posteriormente, este conjunto es encapsulado de forma que quede protegido de los agentes atmosféricos que le puedan afectar cuando esté trabajando a la intemperie, dándole a la vez rigidez mecánica y aislándole eléctricamente.

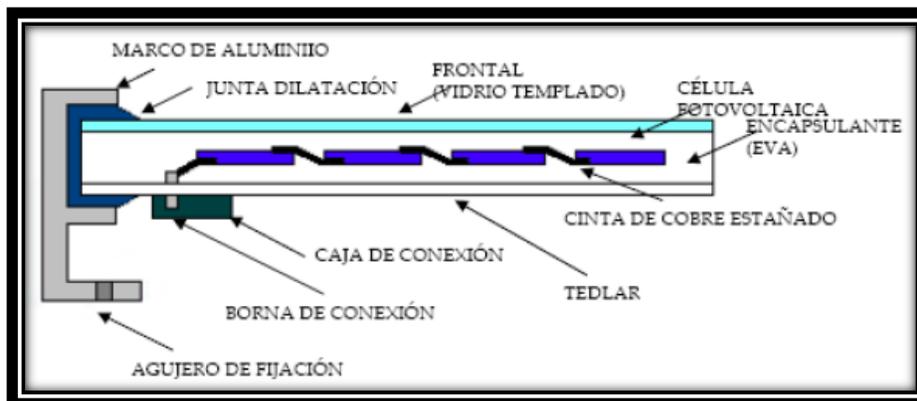


Ilustración 2.8-7 Partes de un módulo fotovoltaico. (Fuente: Domínguez, 2012).

**Alcocer, 2008** considera que dentro de los parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico que proporciona el fabricante, los más representativos son los siguientes:

- Potencia pico: Potencia máxima que puede proporcionar un módulo fotovoltaico. Corresponde al punto de la curva característica donde el producto  $V \cdot I$  es máximo
- Tensión de máxima potencia (VPMP): Es la tensión correspondiente al punto de máxima potencia de la curva característica del módulo fotovoltaico. Es la tensión de trabajo del módulo y la que se utiliza para diseñar los sistemas fotovoltaicos.
- Intensidad de máxima potencia (IPMP): Es la corriente correspondiente al punto de máxima potencia de la curva característica del módulo fotovoltaico. Es la corriente de trabajo del módulo y la que se utiliza para diseñar los sistemas fotovoltaicos.
- Tensión de circuito abierto (Voc): Es la máxima tensión que puede proporcionar el módulo fotovoltaico si se dejan sus terminales en circuito abierto (módulo generando sin estar conectado a ningún tipo de carga).
- Intensidad de cortocircuito (Icc): Máxima corriente que va a ser capaz de proporcionar el módulo fotovoltaico si se cortocircuitan sus terminales ( $V = 0$ ).

### 2.8.9 Modo de funcionamiento

Existen dos formas de utilizar la energía eléctrica generada a partir del efecto fotovoltaico. **Fernández, 2009** menciona que primeramente encontramos instalaciones aisladas de la red eléctrica, que son sistemas en las que la energía generada se almacena en baterías para poder disponer de su uso cuando sea preciso. Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo.



En segundo lugar, encontramos las instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional, en las que toda la energía generada se envía a la red eléctrica convencional para su distribución donde sea demandada.

### 2.8.10 Sistemas fotovoltaicos conectados a red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red son soluciones alternativas reales a la diversificación de producción de electricidad, y se caracterizan por ser sistemas no contaminantes que contribuyen a reducir las emisiones de gases nocivos (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) a la atmósfera, utilizar recursos locales de energía y evitar la dependencia del mercado exterior del petróleo. **Jutglar, 2011** indica que una planta fotovoltaica de conexión a red presenta diversos subsistemas perfectamente diferenciados:

- **Generador fotovoltaico:** El generador fotovoltaico está formado por la interconexión en serie y paralelo de un determinado número de módulos fotovoltaicos. Los módulos fotovoltaicos son los encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica, generando una corriente continua proporcional a la irradiación solar recibida.
- **Sistema de acondicionamiento de potencia:** Para poder inyectar la corriente continua generada por los módulos a la red eléctrica, es necesario transformarla en corriente alterna de idénticas condiciones a la de la red. Esta función es realizada por unos equipos denominados inversores, que basándose en tecnología de electrónica de potencia transforman la tensión continua procedente de los módulos en tensión alterna trifásica de la misma forma de onda (sinusoidal) amplitud, frecuencia, ángulo y secuencia de fases que la de la red pudiendo, de esta forma, operar la instalación fotovoltaica en paralelo con ella.
- **Interfaz de conexión a red:** Para poder conectar la instalación fotovoltaica a la red en condiciones adecuadas de seguridad tanto para personas como para los distintos componentes que la configuran, ésta ha de dotarse de las protecciones y elementos de facturación y medida necesarios.
- **Evacuación de la energía generada a la red:** La evacuación de la energía generada, con parámetros de baja tensión (400 V y 50 Hz), a la red eléctrica, se realiza a través de las infraestructuras comunes de interconexión del parque solar al punto de conexión, en media tensión, definido por la compañía distribuidora.

### 2.8.11 Sistemas fotovoltaicos aislados

En este caso aparecen adicionalmente los componentes siguientes:

- **Batería:** Una batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía eléctrica en forma de enlaces químicos. El bloque constructivo básico de una batería es la célula electroquímica. Las células están conectadas en configuraciones serie/paralelo apropiadas para proporcionar los niveles de voltaje, intensidad y capacidad de batería deseados.



- **Regulador:** Es el encargado de regular el flujo de electricidad desde los módulos fotovoltaicos hasta las baterías (suministrándoles la tensión e intensidad adecuadas al estado de carga en que éstas se encuentren). Además, el regulador tiene la misión de mantener la batería plenamente cargada sin que sufra sobrecargas que pudieran deteriorarla.

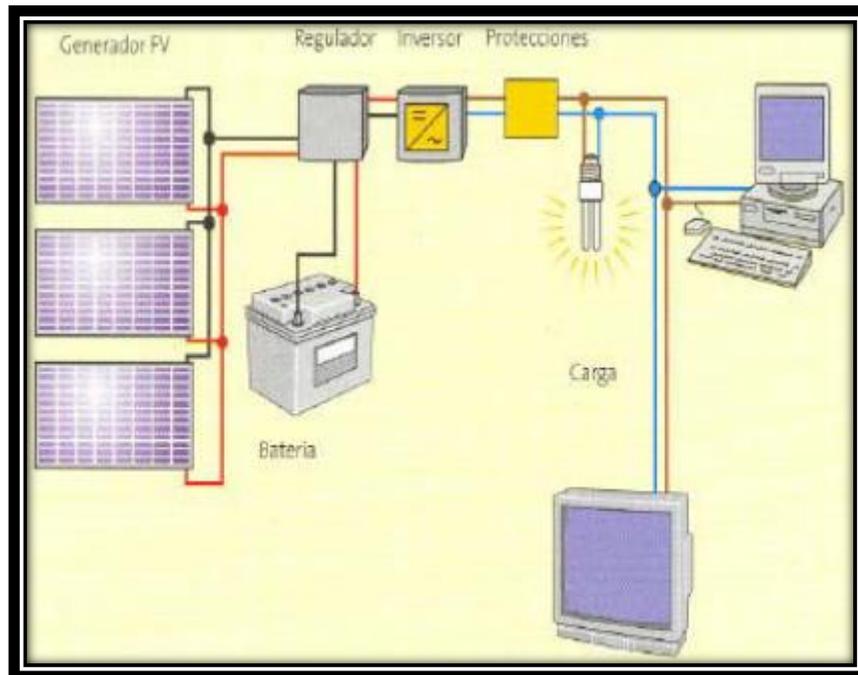


Ilustración 2.8-8 Diseño de una instalación de conexión aislada. (Fuente: Almanza, 1994).

### 2.8.12 Baterías

La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

### 2.8.13 Reguladores de carga de baterías

Existen diversos tipos de reguladores de carga. El diseño más simple es aquel que involucra una sola etapa de control. El regulador monitorea constantemente la tensión de batería. Cuando dicha tensión alcanza un valor para el cual se considera que la batería se



encuentra cargada (aproximadamente 14.1 Volts para una batería de plomo ácido de 12 Volts nominales) el regulador interrumpe el proceso de carga. Esto puede lograrlo abriendo el circuito entre los módulos fotovoltaicos y la batería (control tipo serie) o cortocircuitando los módulos fotovoltaicos (control tipo shunt). De acuerdo con **Domínguez, 2012**, cuando el consumo hace que la batería comience a descargarse y por lo tanto a bajar su tensión, el regulador reconecta el generador a la batería y vuelve a comenzar el ciclo.

En el caso de reguladores de carga cuya etapa de control opera en dos pasos, la tensión de carga a fondo de la batería puede ser algo mayor a 14,1 Volts. Como señala **Domínguez, 2012**, el regulador queda definido especificando su nivel de tensión (que coincidirá con el valor de tensión del sistema) y la corriente máxima que deberá manejar.

#### 2.8.14 Inversor

El inversor será el dispositivo que transformará la corriente continua (CC) suministrada por los sistemas fotovoltaicos y demás fuentes de energías renovables o sus componentes de almacenamiento, en corriente alterna (CA), necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos.

En general, la potencia del inversor no debe ser superior a la potencia pico del generador fotovoltaico, ya que el inversor no funcionará a su potencia nominal debido a que, en condiciones climáticas reales, un generador fotovoltaico nunca trabajará en condiciones STC. Teniendo en cuenta estas consideraciones, **Mora, 2010** expresa que el rango de potencias nominales del inversor puede oscilar entre 0,7 y 1,2 veces la potencia pico del generador fotovoltaico.

Cuando se seleccione el inversor hay que asegurarse de que para cualquier condición climática de irradiación y temperatura funcionará correctamente y que la eficiencia máxima del inversor se corresponda con el rango de irradiación más frecuente del lugar. Hay que garantizar que para cualquier condición climática, el rango de tensiones a la salida del generador fotovoltaico debe estar dentro del rango de tensiones admisibles a la entrada del inversor. En este sentido hay que tener en cuenta que la tensión (y en menor medida la corriente) a la salida del generador fotovoltaico varía con la temperatura.

Los inversores irán ubicados en dos edificios prefabricados tipo PFU. La envolvente de estos centros es de hormigón armado vibrado, y se compone de 2 partes: una que aglutina el fondo y las paredes, que incorpora las puertas y rejillas de ventilación natural, y otra que constituye el techo.



### 2.8.15 Radiación solar

El sol produce una cantidad de energía constante que, en el momento de incidir sobre la superficie terrestre pierde parte de su potencia debido a distintos fenómenos ambientales.

Como lo hace notar **Perales, 2008**, la potencia radiante de  $1353 \text{ W/m}^2$  que llega al Planeta Tierra no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos, la actividad humana, la forma propia de la Tierra y el ciclo día/noche.

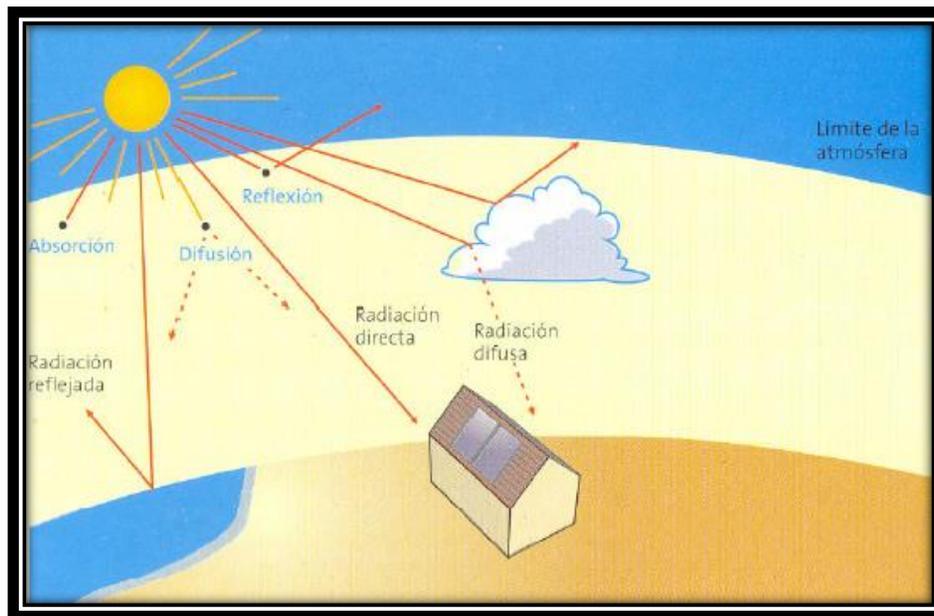


Ilustración 2.8-9 Componentes que afectan la radiación solar. (Fuente: Almanza, 1994).

La atmósfera terrestre atenúa la radiación solar debido a los fenómenos de reflexión, absorción y difusión que los componentes atmosféricos producen sobre ésta. La difusión que se produce debida a la presencia de polvo y a la contaminación del aire depende, en gran medida, del lugar donde se mida, siendo mayor en los lugares industriales y en los lugares más poblados. Los efectos meteorológicos locales tales como nubosidad, lluvia o nieve afectan también a la irradiación solar que llega a un determinado lugar.

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, la irradiación que incide en un plano horizontal de la superficie terrestre un día claro al mediodía alcanza un valor máximo de  $1000 \text{ W/m}^2$  aproximadamente. Este valor depende del lugar y, sobre todo, de la nubosidad. **González, 2009** argumenta que si se suma toda la radiación global que incide sobre un lugar determinado en un periodo de tiempo definido (hora, día, mes, año) se obtiene la energía en  $\text{kWh/m}^2$  (o en  $\text{MJ/m}^2$ ). Este valor es diferente según la región a la que hagamos referencia.

Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas

de nuestro emplazamiento, de las que los institutos de energía elaboran anualmente un atlas de radiación.

### 2.8.16 Geometría solar

Para el cálculo de la producción energética de una instalación solar es fundamental conocer la irradiación solar en el plano correspondiente a la instalación y la trayectoria solar en el lugar en las diferentes épocas del año. La situación del sol en un lugar cualquiera viene determinada por la altura y el azimut del sol.

Se define la orientación mediante el azimut. El azimut solar es, según **Fernández, 2009**, el ángulo que forma la dirección sur con la proyección horizontal del sol, hacia el noreste o por el noroeste, considerando la orientación sur con  $\psi = 0^\circ$ , y considerando los ángulos entre el sur y el noreste negativos y entre el sur y el noroeste positivos.

Por ejemplo, la orientación Este se considera  $\psi = -90^\circ$ , mientras que para la orientación Oeste,  $\psi = 90^\circ$ . La inclinación viene definida por el ángulo  $\beta$  (para el módulo) y por la altura solar  $\alpha$  o su complementario  $\theta_z$ , (ángulo cenital) para el sol.

En la figura 1.7 se visualiza la trayectoria aparente del sol en relación a una instalación solar situada en la cubierta de un edificio en días determinados del año (solsticios de verano e invierno y equinoccios de primavera y otoño).

Los demás días del año el sol recorre trayectorias intermedias entre las representadas. No es difícil calcular la posición del sol en cualquier lugar en cualquier momento y también el ángulo de incidencia con cualquier plano.

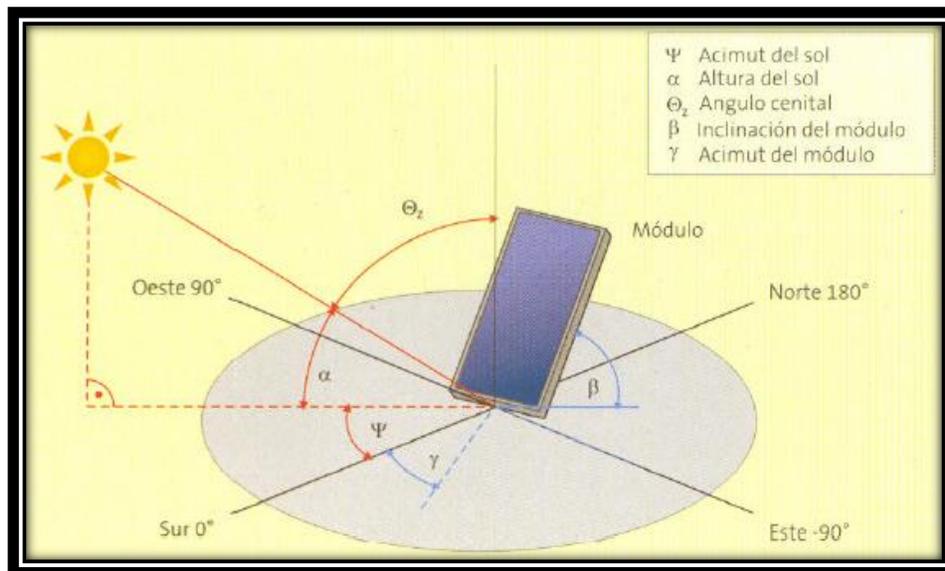


Ilustración 2.8-10 Geometría solar. (Fuente: Alcocer, 1994).

### 2.8.17 Recorrido óptico de la radiación solar

Cuanto más perpendicular se encuentra el sol con respecto a la superficie terrestre (menor valor del ángulo cenital) menor es el camino que recorre la radiación solar a través de la atmósfera. Por el contrario para ángulos cenitales mayores (menor altura solar) el camino a recorrer por la radiación solar en la atmósfera es mayor, lo que implica que la intensidad de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor. Se define la *masa de aire*, (AM) como el cociente entre el recorrido óptico de un rayo solar y el correspondiente a la normal a la superficie terrestre (ángulo cenital cero) y está relacionada con la altura solar ( $\alpha$ ).

Tal como **Fernández, 2009** expresa, para  $\alpha = 90^\circ$ ,  $AM = 1$ , que es el valor mínimo de AM y se corresponde con la situación del sol en el cenit (vertical del observador). En la figura 1.8 se tiene la altura solar y su correspondiente valor de AM, de acuerdo con la fórmula anterior. En particular, la altura solar máxima en Tarragona tiene lugar el 21 de Junio ( $72^\circ$ ) y el valor correspondiente de  $AM = 1,05$ . El valor de  $AM = 1$  (sol en el cenit) no se da ningún día del año, en nuestras latitudes. La radiación solar en el espacio exterior, es decir sin atravesar la atmósfera terrestre, supone  $AM = 0$ .

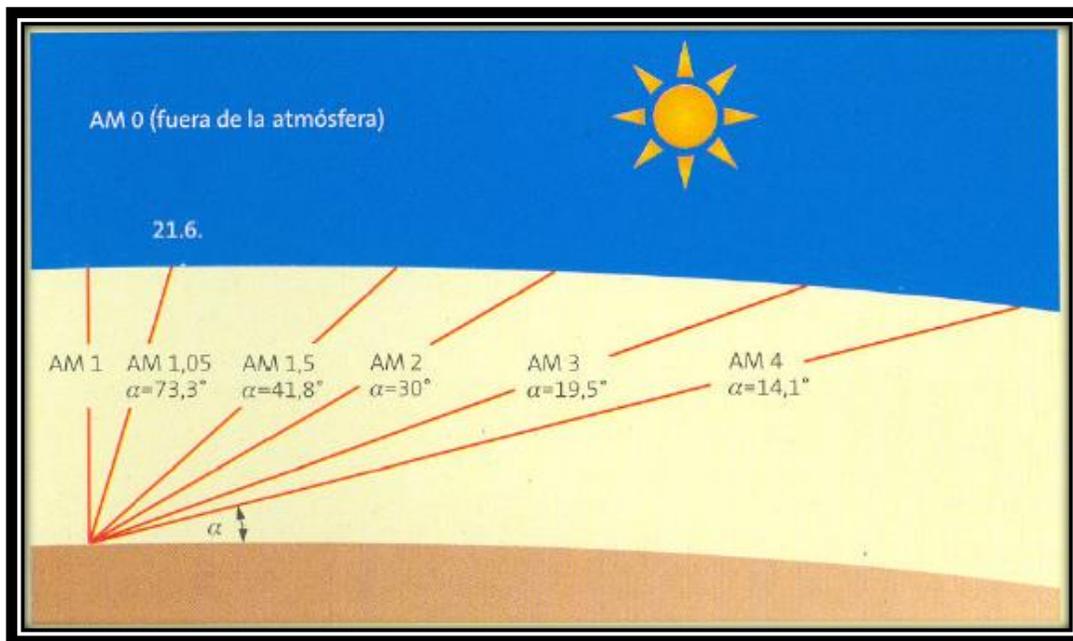


Ilustración 2.8-11 Altura solar y valor AM correspondiente según la posición del sol.  
(Fuente: Domínguez, 2012)

### 2.8.18 Irradiación en superficies inclinadas

La radiación solar en una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar es siempre mayor que en la misma superficie colocada en cualquier otra posición. Al variar el azimut y la altura solar a lo largo del día y del año, el ángulo de incidencia de radiación óptimo en una superficie dada no es constante. La situación



óptima se daría en un plano cuya inclinación y orientación variara constantemente. No obstante, generalmente la superficie es fija. Para considerar si una determinada superficie ya existente es apta para su uso solar, es necesario conocer la radiación solar incidente sobre dicha superficie.

### 2.8.19 Horas de sol pico (H.S.P.)

En energía solar fotovoltaica, de acuerdo con **Guardiola, 2008**, es un concepto relacionado con la radiación solar de gran interés a la hora de calcular la producción de un sistema fotovoltaico. Se trata de las “horas de sol pico” que pueden definirse como el número de horas al día con una irradiación ficticia de 1.000 W/m<sup>2</sup> que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día.

El hecho de referir las horas de sol pico a una radiación de 1.000 W/m<sup>2</sup> es de gran interés ya que, como veremos más adelante, la potencia de los paneles está asociada a una radiación de 1.000 W/m<sup>2</sup> por lo que si conocemos la horas de sol pico, la producción energética se calcula multiplicando la potencia del panel por las horas de sol pico y por un factor de pérdidas. Si la irradiación viene expresada en kWh/m<sup>2</sup> es un caso especialmente interesante ya que las horas de sol pico, de acuerdo a la definición dada inicialmente, coinciden con el número en que viene expresada la irradiación.

La Eficiencia Energética (EE) según **Araya, 2010**, es el conjunto de acciones o medidas que permiten optimizar la energía destinada a producir un bien y/o servicio. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel de:

- Tecnología: diseñando o modificando dispositivos para que utilicen de forma eficiente la energía
- Gestión: optimizando los recursos siempre escasos, para producir el mismo producto, de igual o mejor calidad, pero a un costo energético menor.
- Hábitos culturales en la comunidad: asumiendo como propio el desafío de usar eficientemente la energía, adoptando medidas tan simples como apagar las luces que no se estén ocupando. La adopción de medidas de optimización de la energía (EE) trae beneficios directos al país y a su desarrollo sustentable en cuatro áreas básicas:
- Estratégicos: Reduce la dependencia de fuentes energéticas externas.
- Económicos: el ahorro de energía permite aumentar el ahorro económico, esto debido a la reducción de la demanda energética por parte de consumidores e industria, en todos los servicios energéticos tales como luz, calefacción, transporte; y generación de actividad económica, empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico, en los nuevos mercados de bienes y servicios que se crearán para los diferentes sectores usuarios.



- Ambientales: disminución de la demanda de recursos naturales. Esto incluye alivio de presiones locales así como presiones globales tales como las emisiones de CO<sub>2</sub>, conducentes al calentamiento global.

### 2.8.20 Factores De Pérdidas Energéticas

Al igual que en otros procesos de generación de potencia eléctrica, las pérdidas son un factor determinante y a tener presente en todo momento para poder posteriormente evaluar los rendimientos de los equipos.

**Fernández, 2009** menciona que la energía producida por una instalación fotovoltaica es directamente proporcional a la irradiación incidente en el plano del generador fotovoltaico. Así por ejemplo un sistema con un generador fotovoltaico de potencia nominal 1 kWp instalado con unas condiciones meteorológicas tales que reciba una irradiación anual de 1800 kWh/m<sup>2</sup>, dicho generador en ausencia de pérdidas produciría 1800 kWh.

Ahora bien, la experiencia y distintos estudios muestran que la energía producida por un módulo fotovoltaico es sensiblemente inferior. Esta disminución de la energía entregada por el generador respecto de la energía solar incidente puede ser explicada mediante una serie de pérdidas energéticas, cuyas principales fuentes se presentan a continuación.

#### 2.8.20.1 Pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal

Los módulos fotovoltaicos obtenidos de un proceso de fabricación industrial no son todos idénticos, sino que su potencia nominal referida a las condiciones estándar de medida, CEM (en inglés, STC), presenta una determinada dispersión. En general los fabricantes garantizan que la potencia de un módulo fotovoltaico de potencia nominal,  $P^*$ , está dentro de una banda que oscila entre  $P^* \pm 3\%$ ,  $P^* \pm 5\%$  o  $P^* \pm 10\%$ .

Lamentablemente en algunas ocasiones suele darse el caso de que la potencia de cada uno de los módulos fotovoltaicos se sitúa dentro de la banda inferior de potencias garantizadas por el fabricante.

Esto es, según **Domínguez, 2012**, la potencia real suministrada por el fabricante, entendida como la suma de las potencias de cada uno de los módulos que componen el generador fotovoltaico, de una instalación de 1 kWp nominal cuyo fabricante garantice el  $\pm 10\%$  debería ser cualquier valor entre 0.9 kWp y 1.1 kWp. Sin embargo, en general, se sitúa entre 0.9 kWp y 1 kWp.



### **2.8.20.2 Pérdidas de mismatch o de conexionado**

Son pérdidas energéticas originadas por la conexión de módulos fotovoltaicos de potencias ligeramente diferentes para formar un generador fotovoltaico. Esto tiene su origen en que si conectamos dos módulos en serie con diferentes corrientes, el módulo de menor corriente limitará la corriente de la serie. De modo semejante ocurre para la tensión de la conexión de módulos en paralelo. Resultando que la potencia de un generador fotovoltaico es inferior (o en un caso ideal, igual) a la suma de las potencias de cada uno de los módulos fotovoltaicos que lo componen. Como plantea **Pilatowsky, 2009**, las pérdidas de mismatch se pueden reducir mediante una instalación ordenada en potencias (o en corrientes en el punto de máxima potencia) de los módulos fotovoltaicos, así como la utilización de diodos de “bypass”.

### **2.8.20.3 Pérdidas por polvo y suciedad**

Tienen su origen en la disminución de la potencia de un generador fotovoltaico por la deposición de polvo y suciedad en la superficie de los módulos fotovoltaicos. Cabría destacar dos aspectos, por un lado la presencia de una suciedad uniforme da lugar a una disminución de la corriente y tensión entregada por el generador fotovoltaico y por otro lado la presencia de suciedades localizadas (como puede ser el caso de excrementos de aves) da lugar a un aumento de las pérdidas de mismatch y a las pérdidas por formación de puntos calientes.

### **2.8.20.4 Pérdidas angulares y espectrales**

La potencia nominal de un módulo fotovoltaico suele estar referida a unas condiciones estándar de medida, STC, que, además de  $1000 \text{ W/m}^2$  de irradiancia y  $25^\circ\text{C}$  de temperatura de célula, implican una incidencia normal y un espectro estándar AM1.5G. No obstante en la operación habitual de un módulo fotovoltaico ni la incidencia de la radiación es normal, ni el espectro es estándar durante todo el tiempo de operación. El que la radiación solar incida sobre la superficie de un módulo FV con un ángulo diferente de  $0^\circ$  implica unas pérdidas adicionales (mayores pérdidas a mayores ángulos de incidencia). Las pérdidas angulares se incrementan con el grado de suciedad.

Por otro lado los dispositivos fotovoltaicos son espectralmente selectivos. Esto es, la corriente generada es diferente para cada longitud de onda del espectro solar de la radiación incidente (respuesta espectral). La variación del espectro solar en cada momento respecto del espectro normalizado puede afectar la respuesta de las células fotovoltaicas dando lugar a ganancias o pérdidas energéticas.

### **2.8.20.5 Pérdidas por caídas ohmicas en el cableado**

Tanto en la parte DC como en la parte AC (desde la salida de los inversores hasta los contadores de energía) de la instalación se producen unas pérdidas energéticas originadas por las caídas de tensión cuando una determinada corriente circula por un conductor de



un material y sección determinados. Estas pérdidas se minimizan dimensionando adecuadamente la sección de los conductores en función de la corriente que por ellos circula.

#### **2.8.20.6 Pérdidas por temperatura**

Los módulos fotovoltaico presentan unas pérdidas de potencia del orden de un 4% por cada 10 °C de aumento de su temperatura de operación (este porcentaje varía ligeramente en función de cada tecnología). La temperatura de operación de los módulos fotovoltaico depende, según **Araya, 2010**, de los factores ambientales de irradiancia, temperatura ambiente y velocidad del viento y de la posición de los módulos o aireación por la parte posterior. Esto implica que por ejemplo a igualdad de irradiación solar incidente un mismo sistema fotovoltaico producirá menos energía en un lugar cálido que en un clima frío.

#### **2.8.20.7 Pérdidas por sombreado del generador fotovoltaico**

Los sistemas FV de conexión a red se suelen instalar en entornos urbanos en los que en muchas ocasiones es inevitable la presencia de sombras en determinadas horas del día sobre el generador FV. De acuerdo con **Méndez, 2007**, esto conduce a pérdidas energéticas causadas en primer lugar por la disminución de captación de irradiación solar y por los posibles efectos de mismatch a las que puedan dar lugar. También pueden producirse sombras importantes de unos campos fotovoltaicos sobre otros.

Además de las pérdidas consideradas anteriormente puede haber otras específicas para cada instalación, como pueden ser: averías o mal funcionamiento, los efectos de la disminución del rendimiento de los módulos FV a bajas irradiancias, etc.

#### **2.8.20.8 Pérdidas por rendimiento AC/DC del inversor**

El inversor fotovoltaico se puede caracterizar por la curva de rendimiento en función de la potencia de operación. **Méndez, 2007** menciona que es importante seleccionar un inversor de alto rendimiento en condiciones nominales de operación y también es importante una selección adecuada de la potencia del inversor en función de la potencia del generador fotovoltaico (por ejemplo, la utilización de un inversor de una potencia excesiva en función de la potencia del generador fotovoltaico dará lugar a que el sistema opera una gran parte del tiempo en valores de rendimiento muy bajos, con las consecuentes pérdidas de generación).

### **2.9 Interconexionado de células y módulos fotovoltaicos.**

En las instalaciones fotovoltaicas normalmente se requiere el empleo de más de un módulo para satisfacer las demandas energéticas de las mismas, por este motivo se asocian en serie o en paralelo hasta que se adquieren los valores de intensidad y voltaje



deseados. El conjunto de todos los módulos que constituyen el sistema de generación recibe el nombre de campo fotovoltaico o array (del inglés, array = tabla, matriz, formación). **Gabriel, 2010** explica que por lo general los módulos se interconexionan entre si formando unidades que se suelen denominar Grupos. Los grupos se unen para formar el campo de módulos fotovoltaicos.

Para mayor simplicidad se supone que el módulo está constituido por células idénticas, con lo cual los valores de voltaje aparecen multiplicados por el número de células en serie, y los de corriente por el número de células en paralelo. En la práctica, debido a la dispersión de los parámetros de las células en el proceso de fabricación, y a la posibilidad de que no todas ellas trabajen en las mismas condiciones. Un ejemplo claro sería el caso en que, un campo de módulos fotovoltaicos de gran área, una parte del mismo estuviese afectado por una nube y otra no, o el caso de un sistema integrado en un edificio en el cual una parte del mismo estuviera sombreado por edificios colindantes y el resto no. Algunos de estos efectos son evitables poniendo especial cuidado en el diseño del sistema, pero otros resultan impredecibles e inevitables, por lo que se ha de recurrir a protecciones en el sistema. Los dos efectos principales que produce esta dispersión de parámetros son:

- Reducción de la potencia máxima del campo.
- Algunas células pueden convertirse en cargas, disipando parte de la energía producida por las demás.

Los fabricantes de módulos suelen clasificar las células por categorías de forma que las que componen un mismo módulo no tengan una dispersión grande en sus valores de  $I_{sc}$ , para minimizar estas pérdidas. De la misma manera operan con los módulos, los clasifican de acuerdo con la corriente en el punto de máxima potencia, para luego asociar en serie sólo módulos que estarían dentro de la misma categoría, supone una considerable reducción de las pérdidas por desacoplo. En general estos factores están muy estudiados en base a los datos de producción de muchos lotes de módulos fotovoltaicos, existiendo expresiones que relacionan los parámetros principales de los módulos con distribuciones estadísticas.

El efecto de sombreado parcial es en muchos casos inevitable, y es que puede provocar que una célula sombreada invierta su polaridad convirtiéndose por lo tanto en una carga que disipará toda la energía producida por el resto de las células. Si la potencia disipada tiene un valor elevado la célula elevará su temperatura pudiendo llegar a su destrucción. De acuerdo con **González, 2009**, éste fenómeno se conoce con el nombre de punto caliente, y para evitarlo se recurre a la inserción de protecciones (diodos).



## 2.10 Eficiencia energética.

**Fiestas, 2011** indica que el ahorro energético es la gestión adecuada del consumo de los diferentes tipos de energía. El objetivo del ahorro energético como su mismo nombre lo dice es ahorrar energía, lo cual se puede realizar de dos maneras: disminuyendo la potencia consumida por el utilizador o disminuir su tiempo de trabajo.

**Fiestas, 2011** también dice que el ahorrar energía trae de manera inherente dos ventajas: disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero y disminuir los costos por consumo de energía. Hoy en día casi en la totalidad de procesos se utiliza la energía eléctrica como fuente energética para realizar trabajo. Desde una pequeña casa dentro de un asentamiento humano rural hasta una gran planta de producción hace uso de energía eléctrica, y en todas ellas se puede optimizar su uso. Esto se debe a que los procesos que utilizan electricidad presentan una mayor eficiencia, son más limpios y más controlables que los procesos que no trabajan con este tipo de energía.

Según **Brown, 2011** una causa del aumento de las emisiones contaminantes y de gas de efecto invernadero es la alimentación con de equipos industriales con energía eléctrica, así como ordenadores, impresoras y servidores. El uso de ordenadores a nivel mundial pasó de 1000 millones de PC en 2006, a 1.400 millones en 2010 y estima que causa el 3% de la demanda mundial de electricidad.

Motivar a la gente a aprovechar mejor el uso de sus equipos y mantener los equipos fuera de uso desconectados de la red eléctrica puede ahorrar una cantidad significativa de energía. Como un ejemplo, **Kamilaris, 2014** dijo que la electricidad representa 40% de la energía total consumida en los EE.UU., en primer lugar, se utilizaron para la calefacción, refrigeración, iluminación y aparatos que alimentan en zonas residenciales, comerciales e industriales. La importancia de la eficiencia energética de los equipos informáticos en las oficinas es cada vez más relevante.

La Investigación del consumo de energía en los edificios realizada por **Coleman, 2009** ha descrito que el consumo de energía de los aparatos electrónicos son un poco más complejas que en los equipos eléctricos, tales como la iluminación, o productos de línea blanca, donde normalmente es de esperar un sencillo sistema de uso. Una desagregación simplificada de los modos de uso se describe así:

- Encendido. El aparato está en pleno funcionamiento, y capaz de extraer la máxima potencia para el dispositivo.
- Espera activa. Un PC con un protector de pantalla, por ejemplo, podría ser descrito como estando en espera activa, así como un reproductor de DVD que puede tener todos los circuitos energizados, pero en realidad no se encuentra realizando ningún trabajo.
- Espera pasiva. Esto sería cuando la mayor parte del dispositivo es aparentemente apagado, pero no está físicamente desconectada. Un ejemplo de esto sería un ordenador personal, que ha sido apagado en la parte frontal y en la pared, pero todavía está



conectado a una toma de corriente. **Brown, 2011** expresa que en muchos elementos de equipos eléctricos, algunos circuitos se encuentran trabajando, ocurriendo una extracción de energía. A veces la cantidad de energía obtenida de una espera pasiva no es considerablemente menor que la obtenida en el modo de pleno funcionamiento.

**Meier, 1992** indica que la cantidad de electricidad consumida por los aparatos electrodomésticos conectados al poder mientras no realizan activamente sus principales funciones ha sido estudiado por muchos investigadores desde principios de 1990. El consumo de electricidad en espera es el término más conocido y ampliamente utilizado para este tipo de final de la electricidad uso residencial. Muchos más estudios se llevaron a cabo después de determinar que los diferentes aparatos nuevos y de existencias para el hogar. **Ueno, 2006** expresa que debido a la creciente tendencia en el consumo de electricidad en tiempo de espera, muchos países han tomado medidas para reducir la energía de reserva de nuevos aparatos en el mercado, como por ejemplo, la aplicación de normas de eficiencia energética del aparato. **Bertoldi, 2000** argumenta que los efectos de estas medidas en la reducción del consumo de los hogares y de la electricidad, los gastos de electricidad, y el CO2 asociado.

Como ejemplo, **Mustafa, 2013** expresa que el consumo de electricidad en Turquía era 1,056,600MWh en la zona residencial, y el 14,5% del consumo total en 1970. El consumo de este sector aumentó en alrededor de 39 veces y llegó a 41,410,700MWh en 2010, lo cual constituye el 24,1% del total de electricidad el consumo, que se incrementaron en cerca de 24 veces en este periodo.

**Firth et al., 2008** dijo que el consumo de electricidad en los edificios está determinada por dos factores principales: el tipo y número de aparatos eléctricos dentro de las instalaciones y el uso de estos aparatos por los ocupantes del edificio. En lugares con formas construidas similares no puede haber una amplia gama de diferentes aparatos en uso y estos aparatos tendrán una gama de diferentes consumos de energía. El autor también dijo que los ocupantes influyen en el consumo de electricidad del consumo de la vivienda por su compra de aparatos eléctricos y mediante el uso de ellos.

La variación en el tipo de aparatos eléctricos presentes y uso aleatorio del ocupante, según **Bahaj, 2007**, hace que el consumo de electricidad doméstica sea difícil de predecir con exactitud, en particular en pasos de tiempo cortos, como una hora o menos. Sin embargo, se reconoce que se requiere un buen conocimiento del consumo de electricidad doméstica para el diseño e implementación de medidas de eficiencia energética y la generación de electricidad en el sitio.

El consumo eléctrico está determinado por la potencia eléctrica consumida por cada aparato y la cantidad de tiempo que cada aparato está en funcionamiento. **Cogan, 2006** define estos aparatos de acuerdo a su patrón de uso: aparatos de consumo continuo, aparatos de consumo de reserva, aparatos de refrigeración y aparatos activos. Aparatos de consumo continuos, tales como relojes y alarmas antirrobo, dibujan una cantidad



constante continuo de energía. Equipos electrónicos de consumo tales como ordenadores portátiles y decodificadores, tiene tres modos básicos de operación: en uso; en modo de espera; o apagado. El uso de espera se produce cuando un aparato no está en uso, pero todavía está consumiendo energía.

El equipo electrónico puede estar en modo de espera, incluso cuando parecen estar apagado y la única manera segura de evitar que un suministro eléctrico es desconectar la fuente de alimentación. **Firth et al., 2008** indica que los equipos de aire acondicionado, como minisplit, están en uso continuo sin embargo, no atraen una cantidad constante de energía. En cambio, sus ciclos de consumo de energía entre cero y un nivel de potencia establecido, que está bajo control termostático. Aparatos activos son aquellos, que se conecta de encienden o apagan por los usuarios de los equipos y claramente se encuentran en uso o apagados. Los aparatos activos no tienen modo de espera y cuando se apaga su consumo de energía es cero.

**Suástegui et al., 2013** describe que el uso eficiente de la energía es un tema que ha cobrado relevancia para enfoques económicos, políticos, ecológicos y sociales desde hace más de 20 años, es por ello que los gobiernos alrededor del mundo han generado políticas orientadas a la creación de programas que apoyen el logro de dicho fin.

Muchos países incluido México, han utilizado paquetes de estímulos fiscales para invertirlos en programas destinados al uso eficiente de energía en el sector vivienda de las ciudades que presentan un consumo eléctrico muy elevado, ya que dicho sector representa el 25.82% del consumo total de electricidad en el país, según lo indica **Suástegui et al., 2013**.

México es uno de los mayores consumidores de energía en América Latina y el décimo segundo país en el mundo que genera mayor cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI). **Irastorza, 2012** dice que lo anterior es atribuible, en gran parte, a la generación de energía, ya que esta proviene en su mayoría de fuentes de energía fósiles.

**Irastorza, 2012** también expresa que los proyectos en materia de eficiencia energética se presentan como una de las mejores opciones que se tienen para garantizar la seguridad energética al mismo tiempo que incrementan la sustentabilidad ambiental.

En respuesta a estos problemas, **García-Landa & Montero, 2013** describe que el gobierno de la Ciudad de México, por ejemplo, ha incluido medidas que involucren a los ciudadanos tal como su participación en la lucha contra el cambio climático a través de hacer modificaciones en sus estilos de vida. Lo anterior, conlleva a que los ciudadanos hagan cambios en su vida cotidiana para un consumo responsable, en este caso, de energía eléctrica.

No obstante, los ciudadanos como consumidores no sólo buscan satisfacer sus necesidades de confort, sino también, según **Mirosa, Lawson & Gnoth, 2011**, obtener mayor placer a través del consumo excesivo de bienes y servicios.



Desatender el problema de decidir por un consumo responsable de energía eléctrica en la vivienda mexicana podría llevar, por una parte, a tomar medidas de racionalización del servicio como sucedió en 2001 en Estados Unidos, Brasil, Suecia y Nueva Zelanda y en 2003 en Europa y Canadá, según expresa **Organization for Economic Co-operation and Development, 2005** afectando principalmente la actividad económica del país.

Por otra parte, esta problemática puede continuar mermando la economía familiar y elevando el número de emisiones de gases contaminantes al aire, ya que el consumo de energía eléctrica en la Ciudad de México representa un gasto del 20% del ingreso mensual familiar promedio, de acuerdo con **Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, 2012**, y causa el 80% de las emisiones al aire de gases contaminantes por la producción y generación de energía eléctrica en plantas termoeléctricas.

Una de las alternativas para cuidar el ambiente y evitar la emisión de gases contaminantes, es reducir el consumo de energía eléctrica, ya que su producción está relacionada en la mayoría de los casos con la quema de recursos naturales no renovables y por ende con la generación de gases tipo invernadero. **Mora et al., 2011** enuncia que para ello el usuario debe tener conocimiento en tiempo real de sus estadísticas de consumo y no solo del valor de la facturación en un periodo determinado. Esta información puede ser proporcionada por un medidor de energía inteligente (kilowattmetro digital).

Estudios de **Pinzón et al., 2014** indican que con la tecnología existente, se pueden conseguir importantes mejoras en la eficiencia en el consumo energético de los inmuebles, sin disminuir niveles de seguridad y confort. Además, para lograr la eficiencia energética en una empresa u organización no basta con que exista un plan de ahorro de energía derivado de un estudio o diagnóstico. Se debe contar con un sistema de gestión que garantice la mejora continua.

Teniendo en cuenta lo anterior, un factor relevante en la promoción y posterior éxito de las medidas de fomento a la eficiencia energética es, de acuerdo con **Lawrence et al., 2012**, la adecuada consideración de los contextos de consumo de energía, que presupone levantamientos de los usos, tecnologías y hábitos energéticos, mediante un planteamiento consistente, previo a la implementación de los programas. Posteriormente, deben existir procedimientos continuos de evaluación y monitoreo de resultados, mediante el uso de indicadores de gestión y el establecimiento de metas.

Para poder tener un control del consumo eléctrico, es necesario conocer el gasto de los equipos que se tienen, y de la misma forma, es poco común tener en mente el consumo de un aparato antes de comprarlo. **Wijaya & Tezuka, 2013** encontraron que la información juega un papel importante ya que ayuda al comprador a tomar la decisión considerando características como precio, calidad, garantía, uso amigable, tecnología, seguridad, accesorios, tipo, marca y país de origen, destacando el precio y calidad.



## 2.11 Situación actual de la energía en México

### 2.11.1 Recursos energéticos

México, al igual que muchos países en el mundo, es un país consumidor de combustibles fósiles. Actualmente, el consumo de estos combustibles se encuentra por arriba de la media respecto al consumo de los países miembros de la OCDE y respecto a la media de los países incluidos en el World Energy Outlook 2008 como se ilustra en la Tabla 1.

**Tabla 1 Países miembros de la OCDE**

Energético	México %	OCDE %	Mundo %
Fósiles	88.4	82.3	80.9
Carbón	5.5	20.6	26.0
Crudo	45.2	39.9	34.3
Gas	37.7	21.9	20.5
No fósiles	11.6	17.7	19.1
Nuclear	1.7	11.1	6.2
Hidráulica	4.2	2.0	2.2
Biomasa	4.8	3.8	10.1
Otros renovables	0.9	0.8	0.6

Fuente: World Energy Outlook 2008 y Balance Nacional de Energía 2007.

A pesar de que México es un país altamente dependiente de combustibles fósiles, principalmente crudo y gas, destaca que su consumo de carbón se encuentra por debajo del consumo de los países de la OCDE en casi un quince por ciento y aproximadamente en un 20 por ciento respecto a la media mundial.

Una de las razones por las que esto sucede es debido a que México es un importador neto de este energético. Además, la mayor parte de la generación eléctrica en este país está basada en plantas de ciclo combinado que utilizan principalmente gas natural.

Por otra parte, el consumo de gas en México es superior respecto al promedio del resto de los países al igual que el crudo. Destaca la participación de la energía hidráulica en el consumo primario, ya que representa casi el doble que el promedio mundial. Asimismo, la participación de otras energías renovables en México es superior, en promedio, que en el resto del mundo.

En este sentido, México ha planteado desarrollar y promover el consumo de combustibles no fósiles y avanzar hacia una matriz energética más diversificada. El petróleo y sus derivados no sólo han permitido impulsar la industria, sino que, con los recursos obtenidos a través de su explotación, ha sido posible financiar una parte importante del

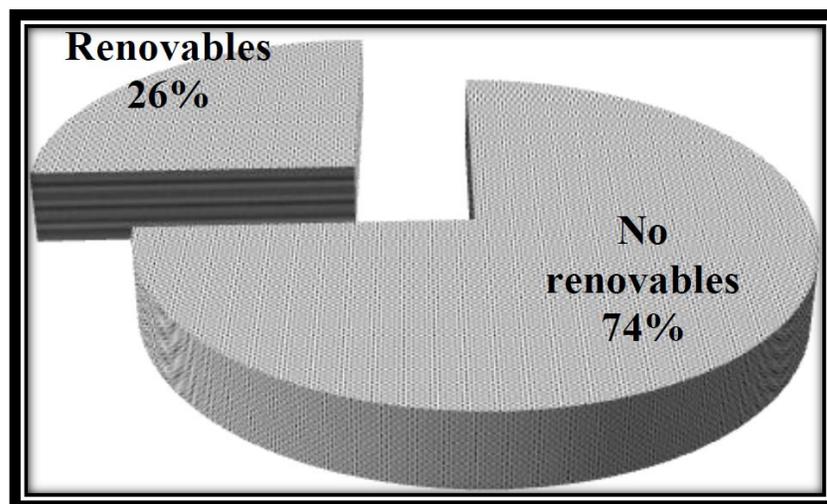


desarrollo económico y social de nuestro país. Sin embargo, una alta dependencia hacia los hidrocarburos, aunada a la volatilidad en el precio de éstos, puede poner en riesgo la seguridad energética, por lo que es importante avanzar hacia una mayor diversificación en el consumo de los mismos.

La seguridad energética es, en la opinión de **Calva, 2007**, un objetivo central para México y la transición energética se perfila como una vía para lograrlo. Por ello, en el Gobierno Federal se está trabajando intensamente en dos vertientes principales que permitirán contribuir a la seguridad energética y a la transición las cuales están identificadas como la diversificación de las fuentes primarias de energía y la eficiencia en el uso de los energéticos.

Por medio de la utilización de fuentes renovables de energía se puede reducir parcialmente la presión sobre los recursos naturales, causada particularmente por los combustibles fósiles y así disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que éstos ocasionan. Adicionalmente, las fuentes renovables pueden contribuir a equilibrar el portafolio energético y reducir los riesgos asociados a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles.

En la actualidad, México cuenta con 12,393 megawatts de capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, lo que representa el 24 por ciento de la capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional.



**Ilustración 2.11-1** Alta Capacidad Instalada de Generación Eléctrica.  
(Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2008 – 2017).

Además, en los dos primeros años de la presente Administración, se ha evitado la emisión de alrededor de 30 millones de toneladas de bióxido de carbono provenientes de la generación de energía eléctrica. Por su parte, el uso eficiente de la energía concilia las necesidades de la sociedad con el cuidado de los recursos naturales.



La eficiencia energética es una oportunidad para reducir el gasto en insumos energéticos, aumentar la competitividad del aparato productivo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y conservar los recursos energéticos de nuestro país.

Para lograr este objetivo, de acuerdo con **Gutierrez, 2009**, una de las líneas de acción es incrementar el financiamiento al sector residencial para sustitución de lámparas, refrigeradores y aires acondicionados ineficientes por equipos de mayor eficiencia energética. En virtud de lo anterior, en el mes de abril de 2008 la Secretaría de Energía gestionó ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) recursos por 110 millones de pesos, a fin de instrumentar la Etapa Piloto del Programa de Sustitución de Equipos Electrodomésticos para el Ahorro de Energía.

El objetivo de este programa consistió en promover el uso racional de la energía eléctrica, mediante la entrega de un bono para la adquisición de aires acondicionados o refrigeradores de alta eficiencia, así como para la adquisición de lámparas fluorescentes compactas.

Como se observa en la Tabla 2, en su etapa piloto el programa se aplicó en algunos de los municipios de los estados de Quintana Roo, Sinaloa y Sonora en el 2008. En total, se repartieron 67,221 bonos, para la sustitución de 3,791 aires acondicionados; 20,006 refrigeradores y 43,424 bonos para la adquisición de lámparas fluorescentes compactas.

**Tabla 2 Resultados del proyecto de aires acondicionados en distintos estados.**

	Aires Acondicionados	Refrigeradores	Focos	Total
Sinaloa	2 780	9 109	21 385	33 274
Sonora	667	2 633	3 604	6 904
Quintana Roo	344	8 264	18 435	27 043
Total	3 791	20 006	43 424	67 221

Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Se espera que con este programa piloto se alcance un ahorro de energía de 153 GW-h, además de evitar la quema de 153 mil barriles de petróleo crudo equivalente y 130 mil toneladas de bióxido de carbono no emitidas. Con este programa y algunas otras acciones que se han realizado en los dos primeros años de esta administración, se ha logrado alcanzar un ahorro en el consumo de energía eléctrica de 46,240 GW-h.

# **CAPÍTULO 3**

---

## **Sustentabilidad y energías renovables en México.**

---



Uno de los pilares de la política energética en México es la diversificación de las fuentes primarias de energía y de las tecnologías de producción de energía, depender de una sola fuente de energía plantea riesgos muy importantes, como la incertidumbre de lo que pasará con el precio del petróleo. La dependencia de una sola fuente energética es un asunto problemático para México, que necesita en gran manera los combustibles fósiles. Una política prioritaria del gobierno mexicano debería ser la diversificación hacia energías limpias y renovables, el aprovechamiento de la energía solar y la energía eólica.

En México requerimos el fortalecimiento de acciones y conductas de sustentabilidad, tanto del consumo como de la producción de energía. Para hacer algo hay que saberlo y entenderlo; tenemos que comprender la naturaleza de los problemas para tomar decisiones acertadas. Hay varias instituciones que tratan de hacer que tomemos conciencia sobre esto. El fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica (FIDE), por ejemplo, trata de orientar al consumidor para que sepa que aparatos tienen un bajo consumo de energía.

El desarrollo sustentable significa poder subsistir con la naturaleza y usar inteligentemente los recursos naturales. Para que esto sea posible necesitamos mantener el equilibrio ecológico, evitar la extinción de las especies y la pérdida de sus hábitats. No es suficiente utilizar menor cantidad de agua, ni reciclar las latas y las botellas, se tiene que decidir lo que se compra y como se usa; las decisiones del consumidor tienen un efecto enorme en las grandes compañías, mucho más de lo que se piensa.

### 3.1 Energía por Biomasa

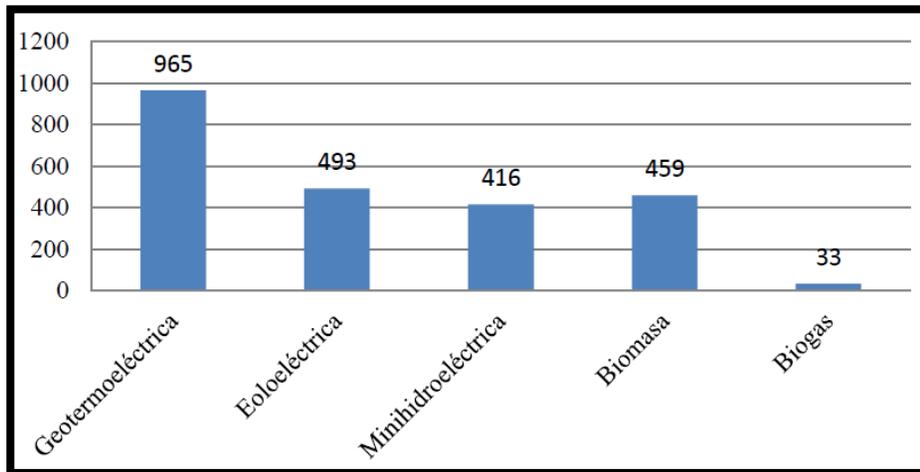
Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana. Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, el manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

Las fuentes de biomasa son usadas para la producción de energía en México y, de acuerdo con **González, 2009**, cubren solo el 4% de la producción energética nacional que equivale al 20% de la capacidad instalada por fuentes renovables, en donde son utilizados los residuos de la industria azucarera y biogás que generalmente son utilizados para los procesos de cogeneración y están enfocados hacia el aprovechamiento del recurso para la sustitución de la energía eléctrica proveniente de los combustibles fósiles sobre todo en



períodos de zafra en el caso de la industria azucarera y en los rellenos sanitarios para el caso del biogás.



**Ilustración 3.1-1** La energía geotermoeléctrica, la de mayor capacidad.

Fuente: Comisión Federal de Electricidad y Comisión Reguladora de Energía

### 3.1.1 Biodiesel

A diferencia del etanol, que es un alcohol, el biodiesel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. Según **Jutglar, 2011**, en Chiapas se está produciendo 30,000 litros diarios en el “Centro de Investigación y Tecnología en Biodiesel” cuya planta está ubicado en Puerto Chiapas. El biodiesel es utilizado como aditivo del diésel en proporción del 20 y 80%, mejor conocido como B-20, y las ventajas que tiene son: Incrementa el índice de cetano para un arranque más rápido, suave y eficiente, mantiene totalmente limpios los inyectores y previene la erosión, ayuda a prevenir el desgaste de los inyectores compatible con todos los combustibles diesel, disminuye notablemente la emisión de gases y su principal ventaja es el aumento de la lubricidad que prolonga la vida útil del motor hasta en un 66%.

## 3.2 Energía Eólica

La energía eólica procede de la energía del sol (energía solar), ya que los cambios de presión y de temperaturas en la atmósfera hacen que el aire se ponga en movimiento, provocando el movimiento en los aerogeneradores y se aprovechan para producir energía eléctrica a través del generador.

Los aerogeneradores aprovechan la velocidad de los vientos comprendidos entre 5 y 20 metros por segundo. Con velocidades inferiores a 5 metros por segundo, el aerogenerador no funciona y por encima del límite superior debe pararse, para evitar daños a los equipos.



A juicio de **Escudero, 2008**, los avances más significativos han sido realizados por la CFE con la instalación de la central de 0.6 MW en la población de Guerrero Negro, Baja California Sur y los instalados en Oaxaca en donde se tiene la Central Eoloeléctrica Oaxaca I con 101.4 megawatts, Oaxaca II, Oaxaca III, Oaxaca IV con una capacidad conjunta de 304.2 megawatts, y La Venta III con 101.4 megawatts de capacidad.

### 3.3 Energía hidráulica

En una central hidroeléctrica se utiliza la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. En general, estas centrales aprovechan la energía potencial que posee el agua debido a su posición en virtud de tener un desnivel. El agua en su caída entre los dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador en donde transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Se definen las centrales en función de su capacidad menores de 30MW como:

- Micro hidráulica si la central es menor de 1 MW.
- Mini hidráulica si la central tiene entre 1 y 5 MW.
- Pequeña central si la central tiene entre 5 y 30 MW

Aun cuando no ha sido calculado en su totalidad el potencial de este recurso, la Secretaría de Energía (SENER) identifica más de 100 sitios para su aprovechamiento. Por ejemplo en la región que comprende los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Puebla se estima una generación de hasta 3,570 GWh/año, equivalente a una capacidad media de 400 MW.

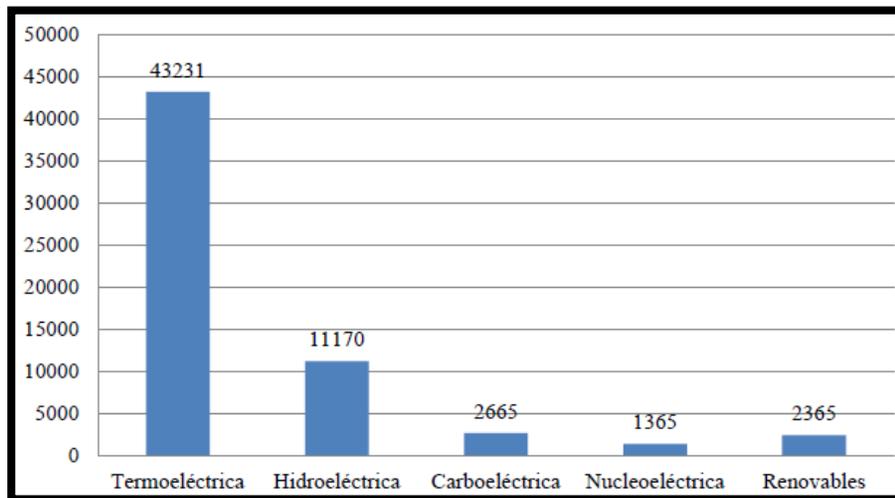


Ilustración 3.3-1 Capacidad instalada hasta el 2010 (Excluye Exportación e Importación).

Fuente: Comisión Federal de Electricidad y Comisión Reguladora de Energía.

**Martinez, 2009** destaca que en México existen 28 centrales hidroeléctricas, con capacidad de generación superior a 30 MW en operación los cuales contribuyen al 18% de la



capacidad total instalada, pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad de generación eléctrica inferior a 30 MW<sup>17</sup>, también existe centrales minihidráulica fuera de operación como por ejemplo en Huazuntlán ubicado en el Municipio de Sotepan, Veracruz.

### 3.4 Energía Solar en México

En la actualidad se han desarrollado diversas instalaciones de paneles fotovoltaicos conectados a la red y año con año crecen en capacidad y generación, por ejemplo: el Parque Solar Fotovoltaico Bicentenario que se instaló en el estado de Aguascalientes con una capacidad de 1MW.

Al 2003, **Alcocer, 2008** indica que se tenían instalados más de 570,000 m<sup>2</sup> de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m<sup>2</sup> y día, generando más de 270 Gigajoules para calentar agua. Al 2012 se espera un crecimiento de más de 600,000 m<sup>2</sup> de calentadores solares.

### 3.5 Situación actual fotovoltaica

Es difícil estimar la magnitud del recurso solar disponible. En México, **Jiménez, 2002** efectuó una aproximación suponiendo que se instalan captadores en una milésima parte de la superficie del país que tuviese una eficiencia media de conversión de 10% y que la radiación que incide diariamente en cada metro fuera de 7 kWh por metro cuadrado de superficie horizontal. En estas condiciones, la energía sería de unos 50 mil millones de kWh al año. Pero para captarla se requiere instalar en promedio y de manera distribuida, el equivalente de un cuadrado de más de treinta metros por lado por cada km<sup>2</sup>.

En nuestro país en el desarrollo industrial y comercial de la energía solar se inició a mediados de los años cuarenta con la fabricación de colectores solares planos para calentamiento de agua de uso doméstico. Actualmente, el número de fabricantes es muy reducido y se desconoce con exactitud la capacidad instalada de fabricación, la producción anual, las técnicas de manufactura, las superficies instaladas, el uso final, el tamaño del mercado así como su crecimiento futuro.

**Pilatowsky, 1999** agrega que la mayor parte de los colectores planos que se fabrican en nuestro país son de temperatura intermedia (60 a 80° C). En cuanto a las aplicaciones, estas se han orientado a la solución de problemas energéticos en el medio rural, en donde los sistemas propuestos son relativamente simples y de baja potencia, en aplicaciones como purificación y distribución de agua, secado y conservación de productos perecederos, electrificación de baja potencia (iluminación, telecomunicación, señalización marítima y terrestre, bombeo y refrigeración), calentamiento de agua y generación de electricidad vía procesos térmicos, entre otros.

En México destaca el uso de dispositivos solares para el calentamiento de agua de las albercas y uso doméstico. Existen varias ciudades cuyo consumo de combustibles



convencionales podría reducirse si se utilizaran colectores solares planos como sistemas de apoyo a los calentadores tradicionales de gas, tanto en residencias como en las industrias. Desafortunadamente, esto no se ha dado en forma masiva. Aun cuando existen antecedentes de instalaciones solares de calentamiento de agua en unidades habitacionales, construidas en diferentes épocas y lugares, el seguimiento para determinar los impactos sobre el ahorro de hidrocarburos y energéticos convencionales y la reducción consecuente de los problemas ambientales no se ha realizado.

Nuestro país tiene algunas regiones (Sonora y Baja California) con el promedio de radiación más alto del planeta. Estas zonas coinciden con los desiertos que se hallan alrededor de los trópicos de Cáncer y de Capricornio, y en ellas pueden construirse centrales de energía solar para satisfacer la demanda que requiere México. Además, como en las zonas desérticas el suelo es poco productivo y el clima contribuye a que no se habiten, son las más apropiadas para construir plantas solares de varias decenas de megawatts de potencia.

En México destaca el uso de dispositivos solares para el calentamiento de agua de las albercas y uso doméstico. Existen varias ciudades cuyo consumo de combustibles convencionales podría reducirse si se utilizaran colectores solares planos como sistemas de apoyo a los calentadores tradicionales de gas, tanto en residencias como en las industrias. Desafortunadamente, esto no se ha dado en forma masiva. Aun cuando existen antecedentes de instalaciones solares de calentamiento de agua en unidades habitacionales, construidas en diferentes épocas y lugares, el seguimiento para determinar los impactos sobre el ahorro de hidrocarburos y energéticos convencionales y la reducción consecuente de los problemas ambientales no se ha realizado.

Nuestro país tiene algunas regiones (Sonora y Baja California) con el promedio de radiación más alto del planeta. Estas zonas coinciden con los desiertos que se hallan alrededor de los trópicos de Cáncer y de Capricornio, y en ellas pueden construirse centrales de energía solar para satisfacer la demanda que requiere México. Además, como en las zonas desérticas el suelo es poco productivo y el clima contribuye a que no se habiten, son las más apropiadas para construir plantas solares de varias decenas de megawatts de potencia.

**Domínguez, 2012** afirma que la energía solar en México, no contribuye significativamente a satisfacer las necesidades nacionales de energía. Según algunas fuentes, en 1985 el petróleo y el gas natural ocupaban el primer lugar, con el 90.46% del total de la demanda de energía. En segundo lugar se encontraba la biomasa, con el 4.6%; la energía hidroeléctrica contribuía con el 3.3%; después seguía el carbón, con el 1.5% y, finalmente, la energía geotérmica con el 0.2%. Por otro lado, cabe mencionar que más de 20% de la población rural no tiene acceso a la energía eléctrica.

El promedio diario de energía solar que llega a la República Mexicana es 5.5 kWh/m<sup>2</sup>. La utilización de la energía solar se ha probado con éxito como alternativa para satisfacer las



necesidades de electricidad en las comunidades rurales. También se ha usado ampliamente en la vivienda. Cabe destacar el hecho de que una casa puede ser autosuficiente, en lo que respecta al consumo externo de energía, si se emplean algunos dispositivos solares y si la arquitectura de la vivienda está diseñada para que el clima esté controlado naturalmente con diversos sistemas solares llamados pasivos. De lo anterior se desprende que el uso de la energía solar contribuye a eliminar nuestra dependencia de los energéticos y a la descentralización energética.

Las dos principales desventajas del uso de la energía solar son, en primer lugar, el costo elevado de los sistemas solares, en comparación con los convencionales y, en segundo lugar, el mantenimiento de los sistemas solares. Es necesario crear sistemas de almacenamiento de energía solar que sean poco costosos, sencillos, eficientes y duraderos.

Sin embargo, estas desventajas pueden ser controladas por la investigación básica y aplicada que se realice en México.

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, el mismo material semiconductor usado en las computadoras. Cuando el silicio se contamina o dopa con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; este es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años. La conversión directa de la parte visible del espectro solar es, quizá, la vía más ordenada y estética de todas las que existen para el aprovechamiento de la energía solar. Desafortunadamente esta tecnología no se ha desarrollado por completo en México. Si bien los módulos fotovoltaicos son relativamente simples, su fabricación requiere de tecnología sofisticada que solamente está disponible en algunos países como Estados Unidos, Alemania, Japón y España entre otros.

Transformación en electricidad: es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integradas en módulos fotovoltaicos. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica, esto representa una de las fuentes de energías renovables con mayores posibilidades a futuro.

### 3.5.1 Sistemas fotovoltaicos en México

En México durante el año 2009 casi 3,3 MW de energía fotovoltaica se han instalado, con lo que la capacidad instalada acumulada pasa a más de 25 MW. **Domínguez, 2012** destaca que el porcentaje de conectados a la red de la capacidad fotovoltaica ascendieron a cerca



de una cuarta parte del mercado anual en el 2009. A finales de 2009, fuera de la red doméstica, las aplicaciones siguió dominando el mercado FV que representan el 72% de la potencia instalada acumulada FV del sector privado.

Un sistema de 400 kW se instaló en las instalaciones de una ensambladora de automóvil americano en el estado norteño de Coahuila. Además, una de las principales cadenas de supermercados continuó con su programa de incorporación de energías renovables para el suministro de energía verde a sus tiendas, la instalación de 200 kW montado en el techo del sistema fotovoltaico en la ciudad de La Paz.

El mencionado autor menciona también que el impulso para el crecimiento de los sistemas FV en el mercado también continuó con la participación a nivel gubernamental a través de la emisión de normas relativas a la Ley de Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (lanzada durante el tercer trimestre de 2009). En este sentido, un modelo de proyecto permitiría la interconexión de los sistemas fotovoltaicos con capacidades de hasta 500 kW el cual fue emitido por la Comisión de Regulación de Energía.

# **CAPÍTULO 4**

---

## **Metodología.**

---



#### 4.1.1 Normatividad

Siempre será importante realizar una documentación consultando las normas y reformas existentes en México con la finalidad de obtener un panorama general sobre la generación de energía eléctrica para uso interno y para su interconexión a la red. Ésta investigación arrojó como principales documentos a considerar la *Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía* y *Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética*.

**Domínguez, 2012** destaca que dentro de estas leyes se busca una transición energética con en el financiamiento disponible de tres mil millones de pesos para la transición energética, cuya cifra se puede actualizar por la variación esperada del Índice Nacional de Precios al Consumidor. Dentro de ésta ley se menciona que el financiamiento busca una transición para el ahorro de energía, las tecnologías limpias y el aprovechamiento de las energías renovables, en donde se detalla las características del comité técnico para la aprobación de Fondo como recursos no recuperables para el otorgamiento de garantías de crédito u otro tipo de apoyos financieros para los proyectos que cumplan con el propósito principal de esta Estrategia.

Teniendo esta base documentada se obtuvo la información sobre el financiamientos de los proyectos, y los requisitos que se deben de cumplir para tener acceso a estos recurso de apoyo gubernamental, otro dato importante que se obtuvo es que hay una comisión encargada para la autorización de los proyectos utilizando estas fuentes de energías renovables, El Colegio de Bachilleres tiene convenios de apoyo directamente del Gobierno Federal y Estatal con una participación de cada uno del 50% ya que es un Organismo Público descentralizado, estos apoyos para son de tipo económico, también cuenta con recursos propios para los proyectos especiales.

Por otro lado se verificó directamente con la Comisión Federal de Electricidad los trámites que se deben de realizar y los convenios para la transición energética, en el caso para los trámites en las instalaciones menores a 0.5 MW y para las gestiones en la generación de energía eléctrica se debe de tener presente que durante el día en cuando se tendrán los excedentes de energía, mientras que en la noche es donde se hará uso de la energía de la red, está respaldado con el contrato de compra-venta y con el estudio de factibilidad de interconexión por CFE.

#### 4.1.2 Transición energética

**Calva, 2007** destaca que una transición energética consiste en un cambio de enfoque en el sector energético, un proceso a través del cual se genere un mejor aprovechamiento de los combustibles fósiles y se desarrolle y fomente el uso de energías renovables con el fin de diversificar las fuentes primarias de energía y aminorar el impacto al medio ambiente al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero originadas por el uso de



combustibles fósiles, los cuales representan actualmente la principal fuente de energía a nivel internacional.

Asimismo **Domínguez, 2012** menciona que los propósitos de la transición energética está basado en diversificar las fuentes primarias de energía, fortalecer los organismos públicos del sector energético en lo referente a prácticas operativas y estándares tanto de calidad como de confiabilidad en los servicios, promover el uso eficiente de la energía, fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables, y para finalizar esta transición promueve la reducción en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI).

Es importante destacar que al llevar a cabo esta transición energética no se debe descuidar la relación de precios de mercado, y el rendimiento, contemplando también factores exógenos, especialmente las externalidades sociales y ambientales de dichos proyectos. Para que esta transición energética sea integral, se deben impulsar políticas, programas y acciones, así como incentivar proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización de las fuentes primarias de energía. De igual forma, se debe promover la eficiencia y sustentabilidad energéticas y reducir la dependencia mundial que existe hacia los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

De esta manera, se modernizará y fortalecerá el sector energético en México, al contar con una mayor eficiencia energética, al tener una reducción importante en cuanto a impacto ambiental y al usar nuevas tecnologías de acuerdo a las necesidades regionales y nacionales aprovechando los recursos naturales de cada país.

Para llevar a cabo la transición energética a partir de las dos reformas antes revisado, se buscó en la página de la Secretaria de Energía la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 y con ello se determinó que este cuenta con un Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables mismo que contiene los requisitos y apoyos que puede otorgar la Secretaria para llevar a cabo una transición energética para uso público en un sistema educativo.

#### **4.1.3 Normatividad eléctrica**

Hay normas mexicanas para la realización de instalaciones eléctricas en viviendas y edificios públicos. Para el caso de instalaciones de arreglos fotovoltaicos, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene reglamentos relativos para su instalación, protección y mantenimiento.

Para una instalación eléctrica de vivienda general, se debe de atender la Norma oficial mexicana NOM-001-SEDE 2005 Instalaciones eléctricas (utilización). Además la CFE recomienda las siguientes normas para el caso de instalaciones fotovoltaicas: Sistema de energía fotovoltaica y el Código Eléctrico Nacional (NEC). Finalmente para cuestiones



legales en México con respecto a la Energía, se analiza las dos leyes Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía y Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética. Las otras normas que se revisaron y analizaron para este proyecto son:

- Instalaciones eléctricas NOM 001-SEDE 2005
- Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas NOM 013-ENER 2005
- Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba NOM-028-ENER 2010
- Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo- condiciones de seguridad NOM-029 –STPS- 2011

#### 4.1.4 Diagnóstico energético

Los diagnósticos energéticos de primer grado detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones a corto plazo, **Domínguez, 2012** expresa que consiste en la inspección visual de las instalaciones, el análisis de los registros de operación, así como el análisis de la información estadística de consumos y costos por concepto de energía eléctrica. Al realizar este diagnóstico se deben considerar los detalles detectados visualmente y que se consideren como desperdicios de energía:

- Aislamiento incorrecto en las conexiones.
- Conexiones improvisadas (Desbalance de carga).
- Cuantificar los costos y posibles ahorros producto de la administración de la demanda de energía eléctrica y de corrección del factor de potencia.

Este tipo de estudio no pretende efectuar un análisis exhaustivo del uso de la energía, sino precisar medidas de aplicación inmediata.

También existen los diagnósticos de segundo grado, los cuales de acuerdo con **Araya, 2010**, comprenden la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos de uso intensivo, como los motores eléctricos y los equipos que estos accionan, compresión, área de servicios auxiliares, en el caso de las instituciones educativas el principal consumo energético es por iluminación y aire acondicionado.

Algunas de las actividades que se incluyen dentro del diagnóstico para determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía, pueden ser: Medir los distintos flujos energéticos, registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones y procesos, efectuar balances de energía, calcular índices energéticos o de productividad y determinar potenciales de ahorro, darle seguimiento al programa mediante la aplicación de listas de verificación de oportunidades de conservación y ahorro de energía. Asimismo, la inclusión de los balances tiene como finalidad contar con un método sistemático y oportuno de detección de pérdidas y desperdicios de energía. Algunos aspectos que soportan el



diagnóstico energético a considerar son de tipo operativo en las que se incluye el inventario de los equipos de esta manera se obtiene la carga instalada, también se analiza la detección y evaluación de fugas de energía, analizar las ordenes de del mantenimiento a las líneas y el período, y para finalizar realizar un análisis de ahorro energético y económico para evaluar las posibilidades de sustitución de equipos energéticos.

Asimismo, **Reyes, 2006** enfatiza que se debe de tomar en cuenta las formas y fuentes de energía utilizadas, las posibilidades de sustitución de energéticos, los volúmenes consumidos, la estructura del consumo, el balance en materia y energía, los diagramas unifilares y analizar las posibilidades de autogeneración y cogeneración.

Al evaluar el diagnóstico desde el punto de vista económico, hacer las recomendaciones pertinentes debemos para considerar que éstas se deben pagar con los ahorros que se alcancen y que en ningún momento deben poner en riesgo la liquidez de la empresa.

## **4.2 Análisis de la demanda energética del edificio.**

Reducir el consumo energético contribuye a un ahorro para la economía del hogar y de la industria, a su vez permite disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, principal causa del cambio climático. Sin embargo, lo anterior no representa una medida de eficiencia energética, ya que solo apunta a consumir menos energía haciendo uso de los mismos dispositivos, sino que más bien permite vislumbrar iniciativas sobre la importancia del uso eficiente de la energía.

A continuación se listan algunos procedimientos que pueden ser útiles para un mejor aprovechamiento de la energía y que conducen hacia una eficiencia energética:

- **Evaluación Energética**

Para implementar un plan de eficiencia energética en el hogar es necesario hacer una evaluación de los equipos existentes, para determinar cuáles son los que consumen mayor cantidad de energía. Esto mostrará los sectores menos eficientes y permitirá adoptar medidas al respecto.

- **Elaboración de un Plan de Ahorro**

En este plan de ahorro se debe detallar en orden aquellos lugares donde se desperdicia la mayor cantidad de energía, lo cual tiene por objetivo determinar la inversión en tiempo y dinero necesaria para mantenimiento, reparaciones y compras potenciales.

- **Adoptar Acciones**

La primera de las acciones a considerar es la de utilizar los equipos eléctricos y electrónicos solo en la medida justa y necesaria, sin encender aquellos que se van a utilizar, sobre todo aquellos que demanden un mayor consumo, optar por dispositivos eficientes, en invierno mantener la casa lo más hermética posible para evitar el ingreso de



corrientes de aire frío, no abusar de las temperaturas, tanto del aire acondicionado en verano, como de la calefacción en invierno, entre otras.

## 4.3 Características del sistema fotovoltaico

### 4.3.1 Parámetros de las cargas

#### Potencia instalada PI

También se le conoce como carga instalada (CI) y es la suma de todas las potencias nominales de los aparatos de consumo conectados a un sistema o que forman parte del inventario de carga el cual se obtiene después de haber realizado un diagnóstico de segundo orden, se expresa generalmente en kVA, kW o MW, matemáticamente se expresa como:

$$CI = \sum \text{Potencias nominales de las cargas}$$

#### Capacidad instalada del sistema CIS

Corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos tales como Transformadores, Generadores fotovoltaicos, inversores, mismas que son instalados a la línea que suministran la potencia eléctrica a las cargas. Es llamada también capacidad instalada del sistema.

#### Carga máxima $D_M$

Se conoce también como la demanda máxima y corresponde a la carga mayor que se presenta en un sistema en un período de trabajo previamente establecido, se lleva a cabo después de observar la utilización de los equipos eléctricos en un periodo establecido o través del cuestionamiento de las personas para conocer el tiempo y el periodo de utilización de las cargas existentes en el sistema. Es esta demanda máxima la que ofrece mayor interés ya que aquí es donde se presenta la máxima caída de tensión en el sistema y por lo tanto cuando se presenta las mayores pérdidas de energía y potencia.

Para establecer la  $D_M$  se debe especificar el intervalo de demanda para medirla. La carga puede expresarse en p. u. de la carga pico del sistema; por ejemplo, se puede encontrar la demanda máxima en minutos o en horas. Se expresa en (kW o kVA).

#### Número de horas de carga equivalente (EH)

Es el número de horas que requiere la carga máxima para que se consuma la misma cantidad de energía que la consumida por la curva de carga sobre el período de tiempo especificado. Esta dada por:



$$EH = \frac{\text{Energía total consumida en el periodo (kW - h)}}{\text{Carga máxima (kW)}}$$

### Curva de carga diaria

Las curvas de carga diaria están formadas por los picos obtenidos en intervalos de una hora para cada hora del día. Las curvas de carga diaria dan una indicación de las características de la carga en el sistema, su análisis debe conducir a conclusiones similares a las curvas de carga anual, pero proporciona mayores detalles sobre la forma en que han venido variando durante el período histórico y constituye una base para determinar las tendencias predominantes de las cargas del sistema, permite seleccionar en forma adecuada los equipos de transformación en lo que refiere a la capacidad límite de sobrecarga, tipo de enfriamiento para transformadores de subestaciones y límites de sobrecarga para transformadores de distribución.

### Carga promedio $D_p$

Se define como la relación entre el consumo de energía del usuario durante un intervalo dado y el intervalo mismo. Se calcula mediante:

$$D_p = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo } T \text{ en kW - h}}{\text{Tiempo en horas}}$$

## 4.3.2 Indicadores de la carga eléctrica del sistema

### Factor de demanda $F_D$

El factor de demanda en un intervalo de tiempo  $t$ , de una carga, es la razón entre la demanda máxima y la carga instalada. El factor de demanda por lo general es menor que 1, siendo 1 solo cuando en el intervalo considerado, todos los aparatos conectados al sistema estén absorbiendo sus potencias nominales, lo cual es muy improbable. Matemáticamente, este concepto se puede expresar como:

$$F_D = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Carga instalada}} = \frac{D_M}{C_I} \leq 1$$

El factor de demanda indica el grado al cual la carga total instalada opera simultáneamente.

### Factor de utilización $F_U$

El factor de utilización es un sistema eléctrico en un intervalo de tiempo  $t$ , es la razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema (capacidad instalada). Es decir:



$$F_U = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Carga instalada}} = \frac{D_M}{PI}$$

### Factor de planta $F_{PL}$

Es la relación entre la energía real producida en un periodo de tiempo y la energía que pudo haber sido producida si la planta ha operado continuamente a la máxima capacidad nominal. También se conoce como factor de capacidad o factor de uso. Por lo tanto:

$$F_{PL} = \frac{\text{Energía real producida}}{\text{Potencia nominal máxima de la planta} * t}$$

### Factor de carga $F_C$

Se define como la razón entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo.

Matemáticamente se puede expresar como:

$$F_C = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}}; 0 < F_C < 1$$

En este caso, el intervalo que generalmente se consideran para el cálculo del valor de demanda máxima es el instantáneo.

### 4.3.3 Rendimiento promedio (RP) del Sistema Fotovoltaico (SFV)

**Domínguez, 2012** argumenta que se calcula la irradiancia del lugar a y través de tablas y datos estadísticos que proporciona la Dirección de promoción para la cogeneración de energías renovables y se busca el nivel de irradiación que incide en el lugar por unidad de superficie horizontal (Valor promedio durante el año) del lugar elegido para el SFV.

La instalaciones conectadas a la red debe de satisfacer las necesidades energéticas del usuario además de satisfacer los parámetros de la red, estas instalaciones buscan una producción energética para obtener resultados económicos en el retorno de la inversión inicial.

Básicamente la producción de un SFV ésta definido por las características técnicas del lugar, el módulo fotovoltaico y los inversores empleados. Para calcular el sistema se debe de tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Determinar las pérdidas por efectos de orientación e inclinación y de las sombras en caso de que exista. Se trata de determinar los valores de los factores de FI y FS.



- Definir los principales elementos que constituyen la instalación.
- Determinar un valor que defina el rendimiento de la instalación y contemple la eficiencia de los equipos así como los factores como la temperatura, el comportamiento de la red y factores ambientales.
- Estimar la producción mensual y anual de la instalación

Los sistemas FV conectados a la red y en zonas urbanas son inevitables la presencia de sombras en determinadas horas del día, esto ocasiona pérdidas energéticas causadas por la disminución en la captación de la irradiación solar. También puede producirse sombras de un módulo fotovoltaico a otro. La potencia nominal de un módulo fotovoltaico está calculado en condiciones que implican una incidencia de la irradiancia de forma perpendicular al plano del módulo (SCT).

No obstante en las condiciones de normales de operación ni la incidencia de la radiación es perpendicular, ni el espectro es estándar durante todo el tiempo, esto implica que haya pérdidas adicionales por orientación e incidencia. Estas pérdidas angulares se incrementan con la suciedad de los módulos ocasionados por el polvo y/o partículas contaminantes.

La eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el período de diseño, se toma en cuenta diversos factores que afectan la eficiencia energética. Los cuales están considerados como de mayor impacto en el SFV son:

- Temperatura
- Cableado
- Dispersión de parámetros y suciedad
- Errores de seguimiento del punto de máxima potencia
- Eficiencia energética del inversor  $\eta_{INV}$ .

El rendimiento promedio (PR), de acuerdo con **Domínguez, 2012**, puede englobar tantos factores como el diseñador pueda cuantificar, a fin de establecer un valor de eficiencia en la instalación lo más aproximado posible a las condiciones reales y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$PR(\%) = (100 - A - P_{Temp}) * B * V * D * E * F$$

Cada uno de los términos de la expresión de PR es complejo y se calculará por separado.

$$A = A1 + A2 + A3 + A4$$

A1: Representa la dispersión de los parámetros entre los módulos, debido a que no operan normalmente en las mismas condiciones que las reconocidas como estándar de medida CEM. Un rango de valores del 10% es una dispersión elevada, un 5% es un valor adecuado, y valores inferiores al 5% se identifican con un buen campo solar en este aspecto.



A2: Representa el efecto del polvo y la suciedad depositada sobre los módulos solares. Éste es un valor variable, puesto que depende de la ubicación de la instalación. Evidentemente, una instalación próxima a una vía no asfaltada se encontrará más afectada por el polvo que otra situada en una zona urbanizada. Lo mismo se puede esperar con la población en las ciudades. La posibilidad de realizar mantenimientos periódicos en este aspecto influye a la hora de estimar este coeficiente.

El rango de valores está entre el 1% para instalaciones poco afectadas por el polvo y suciedad, hasta el 8% donde este aspecto puede tener una mayor influencia.

A3: Contempla las pérdidas por reflectancia angular y espectral. El acabado superficial de las células tiene influencia sobre este coeficiente, presentando mayores pérdidas en aquellas células con capa anti reflexiva que las que están texturizadas.

A juicio de **Méndez, 2007**, también la estacionalidad influye en este parámetro, aumentando las pérdidas en invierno, así como la latitud. Un rango de valores puede ser entre 2% y 6%.

A4: Representa el factor de sombras, FS. Un rango de valores puede ser entre el 1% (Valor mínimo por defecto) y el 10% que es el valor máximo a partir del cual las sombras pueden repercutir negativamente en el correcto funcionamiento de la instalación.

$P_{temp}$ : Representa las pérdidas medias anuales debidas al efecto de la temperatura sobre las células fotovoltaicas.

$$P_{Temp}(\%) = 100(1 - 0.035(T_C - 25))$$

Siendo  $T_C$  la temperatura de trabajo de las células solares.

$$T_C = T_{Amb} + (T_{NOCT} - 20) * \frac{E}{800}$$

Donde:

$T_{Amb}$ : Temperatura ambiente en °C.

$T_{NOCT}$ : Temperatura de operación nominal del módulo fotovoltaico.

$E$ : Irradiancia solar en  $W/m^2$

La temperatura de las células se eleva por encima de la temperatura ambiente de forma proporcional a la irradiancia incidente, lo que tiene como consecuencia una reducción del rendimiento de las mismas. En el silicio cristalino se puede estimar que por cada grado que aumente la temperatura en la célula solar por encima de 25°C, el rendimiento decrece un 0.4%.

La temperatura es un factor a tener en cuenta en el momento de calcular el diseño del SFV. Los lugares ventilados reducen la temperatura de operación de los módulos



fotovoltaicos presentando mayores rendimientos que aquellas que no lo están. Es un factor importante en instalaciones que contemplen su integración como un elemento diferenciador.

Puede darse el caso que la máxima producción de una instalación no corresponda con los períodos estimados ya que este varia con las estaciones del año, por ejemplo con los períodos de primavera y otoño, en donde los índices de radiación son buenos y la temperatura ambiente es menor que en verano, a pesar de contar este con mayor radiación.

B: Coeficiente relacionado con las pérdidas en el cableado de la parte de la corriente continua, es decir, entre los módulos fotovoltaicos y el inversor. Se incluyen las pérdidas en los fusibles, conmutadores y conexiones.

$$B = (1 - L_{Cab(cc)})$$

El valor máximo admisible para  $L_{Cab (CA)}$ , es 1.5% por lo que el valor máximo de B será 0.985. C=Coeficiente que, al igual que el anterior está relacionado con las perdidas en el cableado, pero en este caso en la parte de C.A.

$$C = (1 - L_{Cab(cc)})$$

El valor máximo admisible para  $L_{Cab (CA)}$  es 2% y un valor recomendable es el 0.5%, por lo que C tendrá valores comprendidos entre 0.980 y 0.995.

D: está relacionado con las pérdidas de disponibilidad en la instalación. Con este coeficiente se cuantifican las perdidas debidas al paro de la misma, de forma parcial o total, debido a fallos en la red, por mantenimiento.

$$D = (1 - L_{Disp})$$

Un valor adecuado para las pérdidas por dispersión es el 5%, por lo que el valor máximo de D será de 0.95

E: Representa los valores de eficiencia del inversor. En este caso hay que atender a los valores de rendimiento europeo y a la potencia del inversor a utilizar.

F: Está relacionado con las pérdidas por el no seguimiento del punto de máxima potencia (PPM) y por el funcionamiento del inversor.

$$F = (1 - L_{PPM})$$

Uno de los valores de referencia para estas pérdidas, tal como **Méndez, 2007** lo expresa, puede ser entre el 5% y el 10%, pudiendo tomar como un valor de referencia el 8%, por lo que F tendrá valores comprendidos entre 0.95 y 0.90 .



#### 4.4 Consumo energético

El consumo energético de una instalación eléctrica tiende a variar constantemente. La cantidad de equipos que se utilizan para solventar las actividades diarias de la población se mantiene en constante cambio, pues de forma general, se tiene la percepción de que a mayor cantidad de equipos electrónicos, se tiene una mejor calidad de vida.

Así mismo, el flujo de personas que transitan y utilizan las instalaciones de ciertos lugares públicos, como escuelas, plazas, oficinas de gobierno, suele hacer que la cantidad de equipos que se energizan en los contactos sea aún mayor, haciendo que la facturación eléctrica se eleve, dejando la responsabilidad de cubrirla a terceras personas.

Para poder tener una idea del tipo de equipos y la cantidad de ellos que se energizan dentro de las instalaciones de la cafetería de la USBI, se realizó una encuesta, enfocada a un sector de la comunidad estudiantil de la UV que utiliza sus instalaciones, con la finalidad de conocer el tipo de equipos que utilizan en su actividad diaria y comparar su consumo real contra el especificado por el fabricante.

# CAPÍTULO 5

---

## Resultados.

---



## 5.1 Investigación de las celdas solares marca

Las celdas solares o células solares son aquellas que se encargan de convertir la radiación solar en energía eléctrica. Estas pueden ser de diversos materiales, aunque las más usadas y las más comunes son las de silicio, y se encuentran disponibles comercialmente en la actualidad presentan una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar que cae sobre ellas de cerca del 18%, a una fracción del precio de hace treinta años. Actualmente, existen una gran variedad de métodos para la producción práctica de celdas solares de silicio (amorfás, monocristalinas o policristalinas), del mismo modo que para las celdas solares hechas de otros materiales (seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio).

Durante la última década, se ha estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre las que encontramos, por ejemplo, a las celdas de película delgada y a las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telurio de cadmio). Éstas están comenzando a ser comercializadas.

**Moro, 2010** refiere que en el caso de las células de silicio monocristalino poseen una estructura muy uniforme y se fabrican en cilindros que posteriormente se cortan en obleas, mientras que las policristalinas se fabrican en moldes rectangulares y su costo de fabricación es menor que las silicio monocristalino, pero su eficiencia esta entre 13 y 16%.

Para la instalación de un panel solar (conjunto de celdas solares) es necesario considerar ciertos aspectos o características que se deben cumplir, tal como: su ubicación geográfica y las condiciones climáticas promedio. Los paneles para la producción de energía solar pueden ser instalados en tejados, terrazas, patios o lugares abiertos.

Para evitar mermas en la producción se deberían tener en cuenta algunas variables de importancia:

- La ubicación: Asegurarse que los paneles solares no queden obstruidos por objetos que pueden dar sombra (árboles, módulos, edificios, etc.).
- La orientación: en el hemisferio norte, los paneles solares se deberían orientar hacia el sur. Esto permite aprovechar la máxima radiación en las horas del mediodía justamente cuando la luz solar es más intensa. Esta orientación se traduce en una mayor producción de energía por panel. Si por razones de espacio o arquitectónicas no puede orientarse precisamente hacia la posición descrita, hay que tener en cuenta que se pierde el 0.08% de generación por cada grado que se aleja del sur.



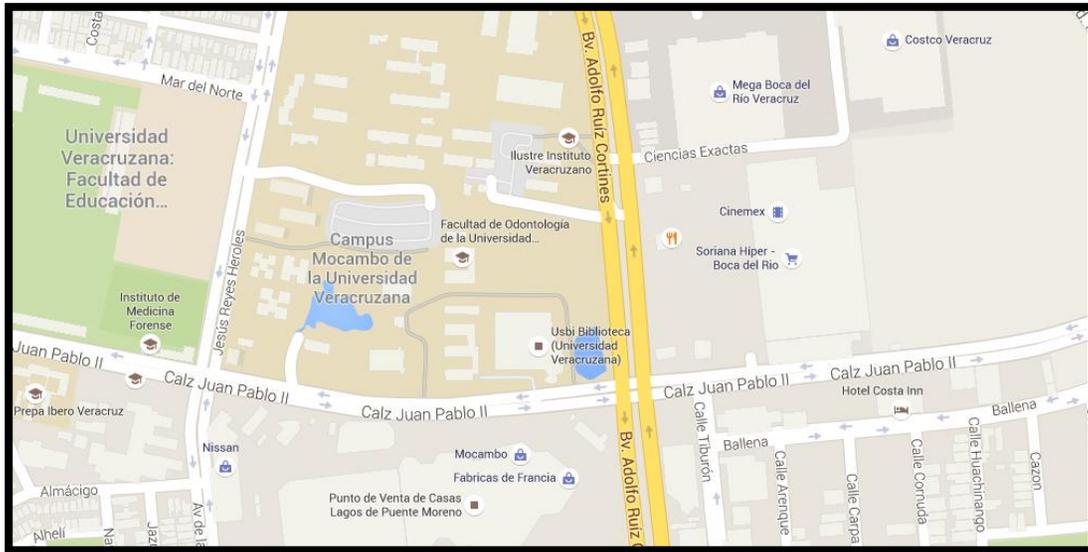
Los valores de los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico los debe proporcionar el fabricante mediante una etiqueta de identificación colocada en la parte posterior del módulo. A la información contenida en la etiqueta se le conoce como datos de placa. Ahí mismo debe incluirse la información del laboratorio de prueba que ha certificado este producto y que ha pasado las pruebas de seguridad y de uso.

## **5.2 Ubicación de la Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Información (USBI).**

La Unidad de Servicios Bibliotecarios y de Información (USBI), forma parte del sistema de bibliotecas de la Universidad Veracruzana (UV). La Universidad Veracruzana inició su existencia formal el 11 de septiembre de 1944. Su creación recoge los antecedentes de la educación superior en el estado de Veracruz al hacerse cargo de las escuelas oficiales artísticas, profesionales, especiales y de estudios superiores existentes en ese entonces dentro de la entidad.

El conjunto de programas de docencia impartidos por la Universidad Veracruzana la ubican como la universidad pública de provincia con mayor diversificación en su oferta educativa. Actualmente nuestra Institución atiende una matrícula de 62,770 estudiantes en 314 programas de educación formal: 174 de licenciatura, 132 de posgrado, 8 de TSU. Otros 15,871 estudiantes son atendidos en programas de educación no formal, a través de los Talleres Libres de Arte, Centros de Idiomas y Centros de Autoacceso, de Iniciación Musical Infantil, Departamento de Lenguas Extranjeras, Escuela para Estudiantes Extranjeros y, Educación Continua, por lo que la matrícula total atendida es de 78,641 estudiantes.

Las instalaciones de la USBI se encuentran dentro de la ciudad de Boca del Río, municipio del estado de Veracruz, México. Las instalaciones de la USBI se encuentran en las coordenadas: 19°09'36.0"N 96°06'35.9"W.



**Ilustración 5.2-1 Croquis de la localización de las instalaciones de la USBI.**  
Fuente: Google maps.

Dentro de la USBI se encuentra el “Reflexionario Mocambo”, antes conocido como la cafetería de la USBI. Actualmente se utilizan éstas instalaciones para llevar a cabo eventos de tipo cultural y artístico, además de seguir brindando servicios de cafetería para los alumnos que asisten a utilizar dichos servicios. La afluencia de los alumnos ha ido en aumento, en comparación a ciclos escolares anteriores donde se encontraba cerrado éste espacio por remodelación.



**Ilustración 5.2-2 Evento cultural dentro del reflexionario “Mocambo”.**



Como una promoción de una cultura sustentable dentro de la comunidad universitaria, se eligió éste recinto para proponer un sistema fotovoltaico (SFV) que proporcione de energía eléctrica dentro de las instalaciones del reflexionario.

### **5.3 Medición de la demanda eléctrica.**

Se hizo una evaluación energética a los transformadores que abastecen de energía eléctrica a los edificios de la USBI – Veracruz. El estudio se inició el 23 de junio del 2015 y se concluyó el 29 de junio del mismo año. El estudio se realizó con el objetivo de examinar el consumo energético de la USBI, con lo cual sería posible conocer la situación actual del consumo eléctrico, detectar los principales consumidores de energía y comparar los resultados con los obtenidos en el primer estudio realizado en el año 2011, pudiendo observar si hay alguna variación significativa y tomar acciones que, en la medida de lo posible, que condujeran a una disminución del costo de facturación eléctrica. El estudio se realizó en la ciudad de Boca del Rio, Veracruz.

### **5.4 Características de la alimentación eléctrica de la subestación de la USBI.**

La energía eléctrica que recibe la subestación de la USBI se suministra a través de sistemas de media tensión de 13,200 V. Esta alimentación proviene de dos fuentes diferentes, una de ellas llega de forma subterránea a los transformadores trifásicos. El sistema eléctrico se encuentra alimentado por dos transformadores IEM tipo pedestal de 500 kVA y 750 kVA. El transformador de 750 kVA se usa para energizar el alumbrado y contactos con salida entre fases de 220 V y entre fase y neutro de 127 V, mientras que el transformador de 500 kVA es utilizado para el suministro de energía al sistema de aire acondicionado, con salida entre fases de 440 V. Ambos están montados en bases de concreto para operar a la intemperie. Las principales cargas que están conectadas al circuito de energía eléctrica son:

- Aires acondicionados y manejadoras de aire.
- Copiadoras.
- Alumbrados.
- Sistemas de cómputo, comunicación y redes.

Con la finalidad de monitorear el comportamiento del consumo eléctrico, se instalaron dos analizadores de redes, por un espacio de tiempo de una semana, realizando el monitoreo en intervalos de 10 minutos.

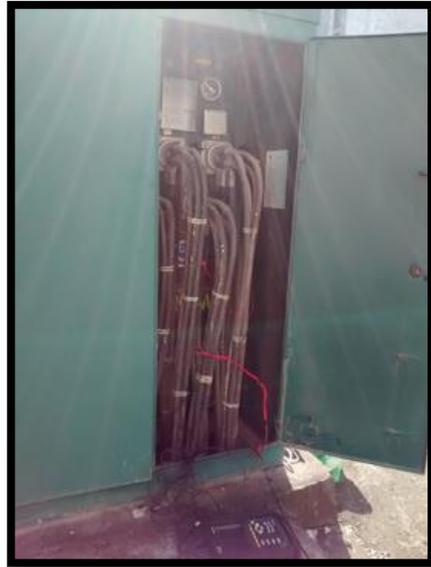


Ilustración 5.4-1 Imagen del transformador IEM tipo pedestal de 500 kVA

## 5.5 Monitoreo del consumo de energía en los transformadores.

Para realizar el seguimiento en tiempo real del consumo eléctrico en los transformadores, se utilizaron analizadores de redes marca AEMC, como el que se muestra en la figura 4.1-1. Es un analizador de potencia trifásica compacto. Con él es posible medir y realizar trabajo de diagnóstico y calidad de potencia en redes de bajo voltaje, mono, bi y trifásicas. Además proporciona formas de onda instantáneas de las principales características de una red eléctrica y también monitorear sus variaciones en el tiempo.

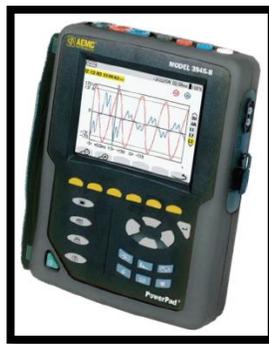
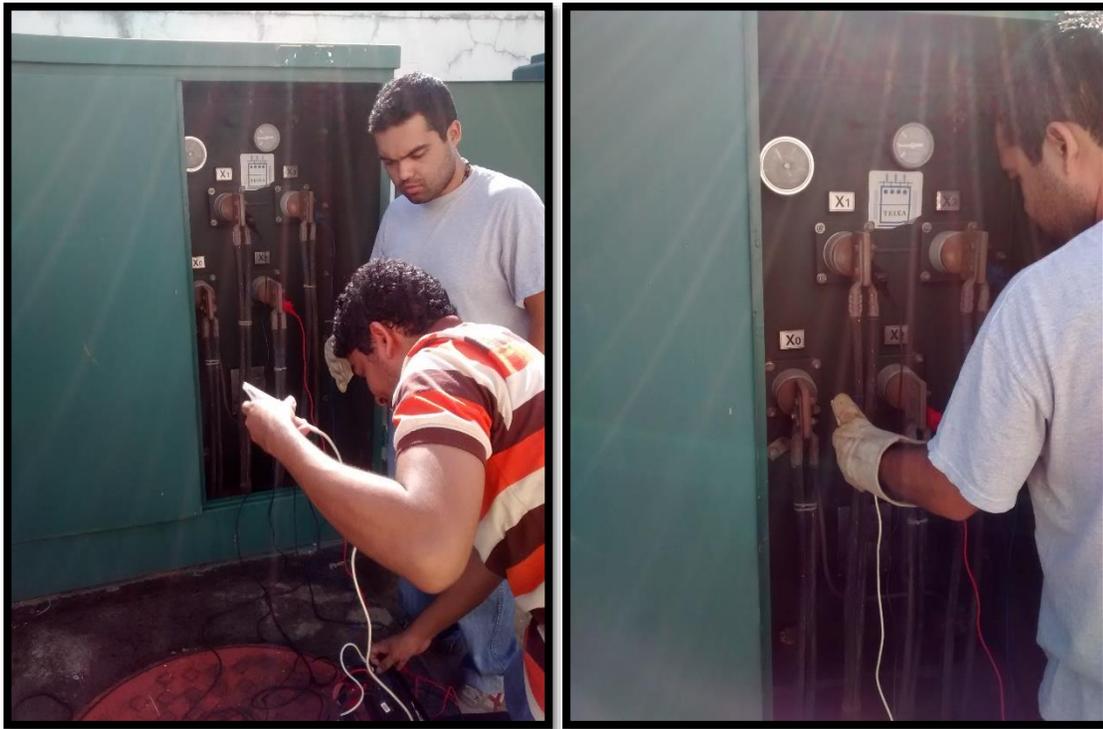


Ilustración 5.5-1 Analizador de redes, marca AEMC modelo 3945 – B



**Ilustración 5.5-2** Imágenes del momento en que se instaló el analizador de redes para comenzar la auditoría energética en los transformadores.

En el caso del transformador de 750 kVA, el analizador se instaló el día 23 de junio del 2015 a las 2:20 pm y se retiró el día 29 de junio a las 11:40 am, registrando las mediciones eléctricas por un lapso de 5 días, equivalente a 140, mientras que en el transformador de 500 kVA, el analizador se instaló el día miércoles 23 de junio del 2015 a las 2:35 pm y se retiró a las 11:55 am de día miércoles 29 de junio, registrando los parámetros eléctricos de este sistema por un lapso de 5 días con 21 horas, equivalente a 141 horas.

En comparación con la auditoría energética realizada anteriormente en éstas instalaciones, en aquella ocasión el estudio se inició el 20 de agosto del 2011 y se concluyó el 27 de septiembre del mismo año. Para el transformador de 750 kVA, el analizador se instaló a las 11:40 am del día sábado 20 de agosto de 2011 y se retiró a las 9:50 am de día sábado 27 de septiembre del mismo año, registrando los parámetros eléctricos de este sistema por un lapso aproximado de 166 horas. Mientras que el monitoreo del suministro de energía eléctrica en el transformador de 500 kVA se instaló a las 11:30 am del día sábado 20 de agosto 2011 y se retiró a las 11:00 am de día viernes 26 de septiembre, registrando los parámetros eléctricos de este sistema por un lapso aproximado de 144 horas. La comparación de los resultados obtenidos en ambos estudios se presenta a continuación, mostrando para cada transformador, una comparación de los datos obtenidos de voltaje, corriente, distorsión total armónica y la potencia real registrados para cada transformador antes mencionado.



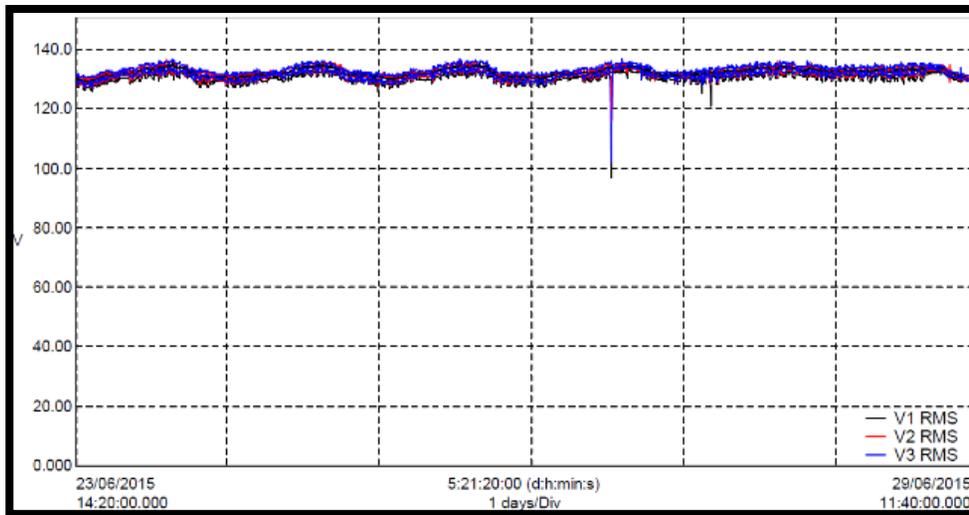
## 5.6 Transformador de 750 kVA.

El transformador de 750 kVA provee el suministro de energía eléctrica del sistema de iluminación y equipos eléctricos y electrónicos, como son pantallas, computadoras, copiadoras, etc.

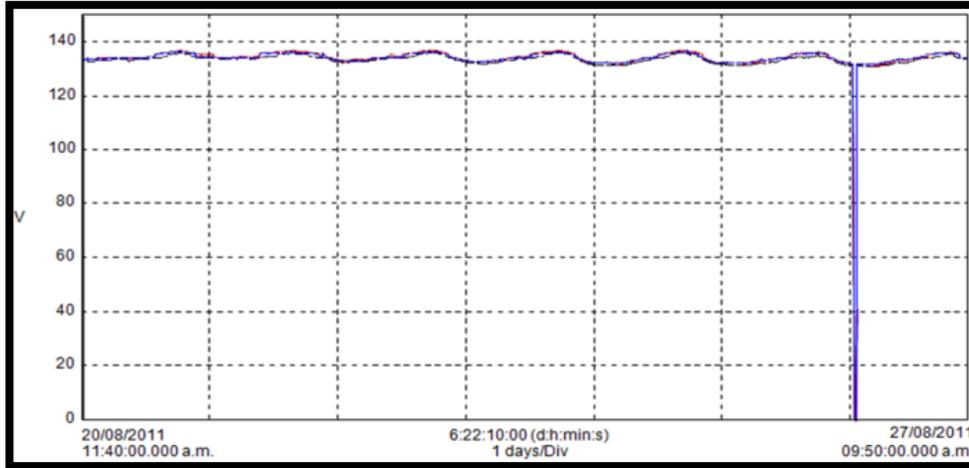
### 5.6.1 Voltaje.

Los resultados obtenidos en el primer estudio mostraron que el valor promedio medido del voltaje entre las fases y el neutro fue de 133 V, como se puede observar en la ilustración 4.3-1 (b) donde se aprecia también una interrupción del voltaje el día 26 de agosto de las 12:50 a las 13:20, esto debido a que se cortó momentáneamente el suministro de energía para realizar trabajos de reparación en la línea del otro transformador. Durante el tiempo de monitoreo se mantuvo una frecuencia de 60 Hz.

En el estudio realizado en el 2015, mostró que el valor promedio medido del voltaje en cada fase fue de 130 V, como se puede observar en la figura 3 (a) el voltaje varía de entre 128 V. a 135 V. lo cual muestra que no hay pérdidas de voltaje desde el transformador a los puntos de conexión o alimentación de energía. A pesar de que se presentó un voltaje mayor por al permitido (127 V.), no es una condición que pueda llegar a dañar los equipos alimentados. Además de presentar en promedio una frecuencia de 60 Hz.



(a)



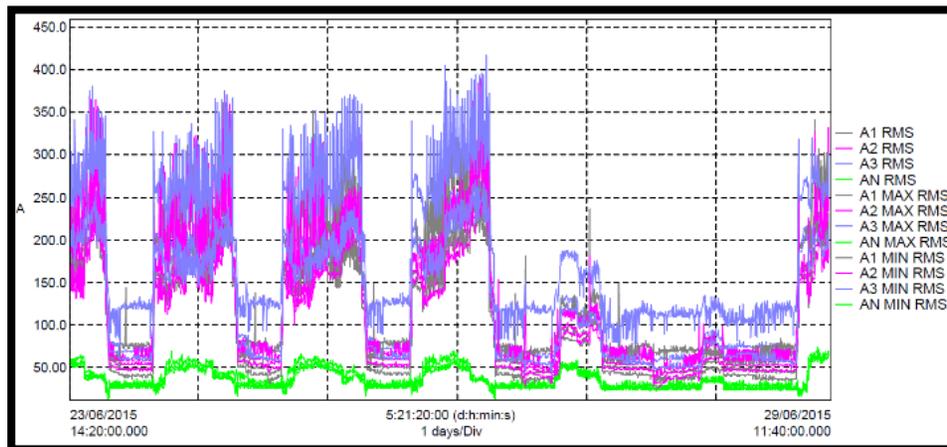
(b)

Ilustración 5.6-1 a) Gráfica de variación de voltaje en las 3 líneas del transformador de 750 kVA registrada en el 2015. b) Gráfica de variación de voltaje en las 3 líneas del transformador de 750 kVA tomada en el año 2011.

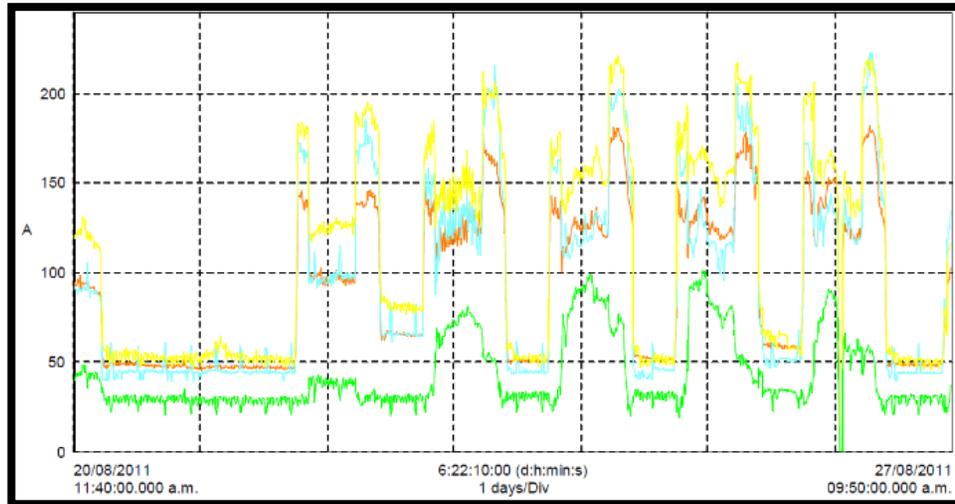
Con lo anterior podemos observar que el voltaje y la frecuencia presentaron comportamientos similares en ambos análisis, sin presentar una variación relevante comparando ambas gráficas.

### 5.6.2 Corriente.

En la figura 4 se presenta el comportamiento de la corriente que circula por cada fase. En la figura 4.3-2 (a) se muestra el resultado del estudio reciente, y podemos observar que la corriente que circula por las líneas, en promedio, supera los 100 amperes a partir del día martes 23 de junio hasta el viernes 26 de junio. Para el fin de semana, éstos valores bajaron considerablemente, presentando en su valor mínimo 50 amperes en promedio, y 150 amperes en promedio como valor máximo. La línea de neutro también registró un valor mínimo de 36 amperes, y en su valor máximo llegó a presentar 68 amperes.



(a)



(b)

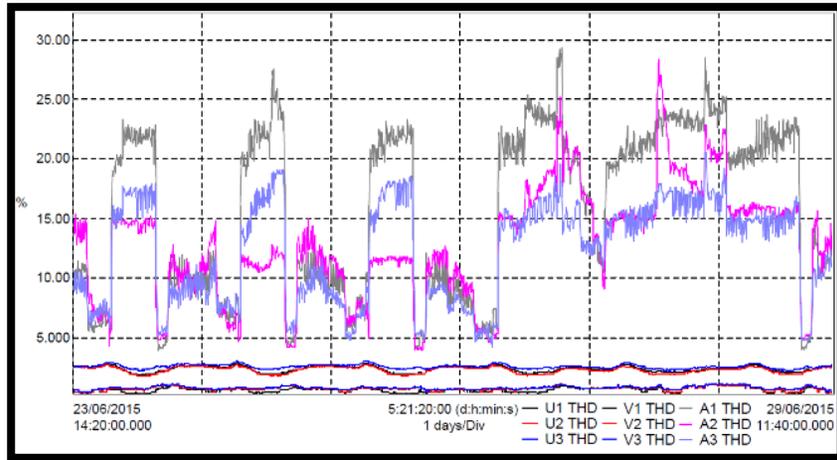
**Ilustración 5.6-2 (a) Variación de corriente obtenida en el 2015. (b) Variación de corriente obtenida en el año 2011. Gráficas del comportamiento del amperaje en cada fase para el transformador de 750 kVA.**

En la figura 4.3-2 (b), se puede observar que en el análisis realizado en el año 2011, la corriente que circula por las líneas de fases. Se aprecia en la gráfica que existe un amperaje promedio de 50 amperes para sábado y domingo, y que este se triplica en los días de la semana, para alcanzar valores pico de más de 200 amperes.

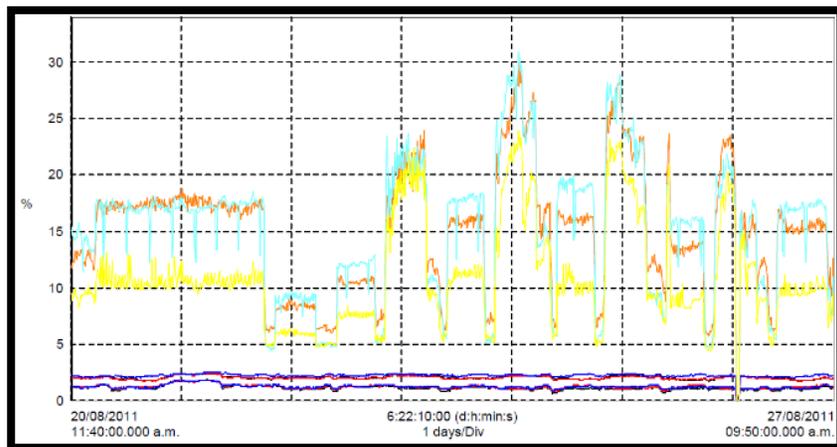
Como podemos observar, en las primeras mediciones se obtuvieron valores de hasta 200 amperes, mientras que en el estudio reciente, obtuvimos valores promedio de 25 amperes para los fines de semana, mientras que de lunes a viernes se presentó un amperaje promedio de 75 amperes, teniendo picos de 97 amperes.

### 5.6.3 Distorsión total armónica

En la figura 4.3-3, se muestran los valores registrados de distorsión total armónica de voltaje y corriente. Se observa en la figura 4.3-3 (a) que la distorsión armónica del voltaje se encuentra por debajo del límite permitido (5%), para la distorsión total de la corriente se llegaron a registrar valores superiores al 20%, teniendo en ocasiones picos por arriba del 25%, lo cual va desgastando y dañando al transformador.



(a)



(b)

**Ilustración 5.6-3 (a) Datos copilados en junio del 2015. (b) Datos obtenidos en agosto del 2011. Ilustración de la distorsión total armónica de voltaje y corriente en el transformador de 750 kVA.**

En la figura 4.3-3 (b), se muestran los valores registrados en el estudio realizado en el 2011. Observamos que, mientras la distorsión armónica del voltaje se encuentra por debajo del límite permitido (5%), para la distorsión total de la corriente se registran valores superiores al 20% lo cual podría llevar a que ocurra una degradación del transformador por efecto de armónicas.

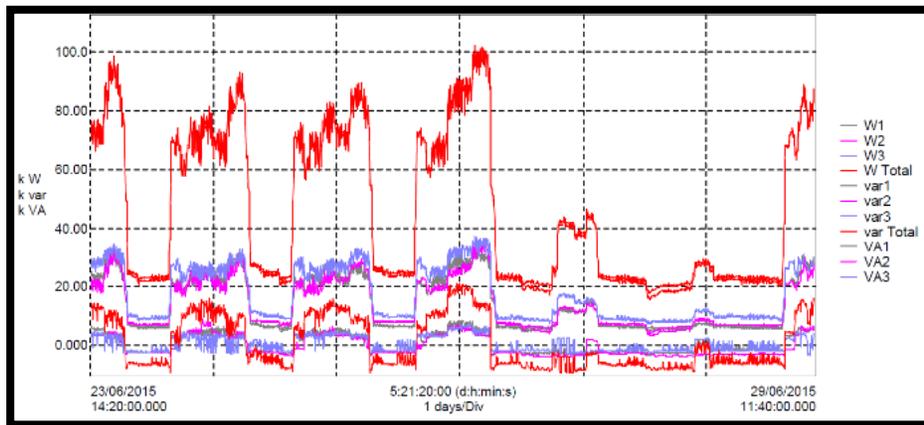
Haciendo una comparación en los datos obtenidos, se dieron valores similares en ambos estudios, mientras que en las armónicas de corriente anteriormente se registraron porcentajes mayores al 25% durante el 2011, actualmente se obtuvieron en promedio un porcentaje de 20%, teniendo picos de máximo un 25%, mostrando un menor porcentaje en la armónica de corriente.

#### 5.6.4 Potencia real.

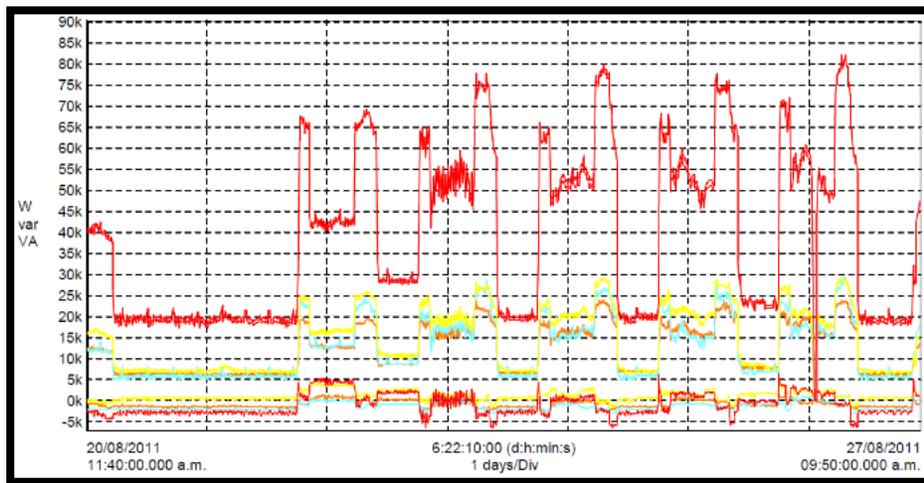
En la figura 4.3-4 (a), se muestra el consumo de potencia real, potencia aparente y potencia reactiva. En el caso del análisis actual, los dos picos de potencia se detectaron: de 5:30 am a 6 am, horario de llegada del personal que labora de lunes a viernes en la



USBI y de 4 pm a 8 pm, también de lunes a viernes. Se registró un consumo en horas pico que van de los 70 a los 90 kW, teniendo un pico de hasta 100 amperes. Mientras que durante el fin de semana, el consumo más alto fue de 43 amperes, en promedio manteniéndose entre 19 y 25 amperes. Se utilizan 46 kVA de los 750 disponibles, por lo cual podemos ver que se tiene un transformador con una capacidad mucho mayor a la que se utiliza para abastecer la energía en situaciones normales dentro de las instalaciones de la USBI.



(a)



(b)

**Ilustración 5.6-4 (a) Datos recopilados en junio del 2015. (b) Datos obtenidos durante el año 2011. Gráficas que muestran la potencia real, potencia aparente y potencia reactiva en el transformador de 750 kVA.**

En la figura 4.3-4 (b), se muestra el consumo de potencia real, potencia aparente y potencia reactiva durante el primer estudio. Los valores máximos registrados fueron de 82.17 kVA y 81.68 kW para las potencias aparente y real, respectivamente. Se consumen en promedio 75 kVA de los 750 disponibles, es decir, en semanas sin eventos en las salas de usos múltiples, en las que se requiera consumo de energía fuera de lo habitual.

Comparando, podemos ver que actualmente se consume más energía, la potencia real y aparente registrada en el 2011 era de 82.17 kVA y 81.62 kW, como es posible observar en



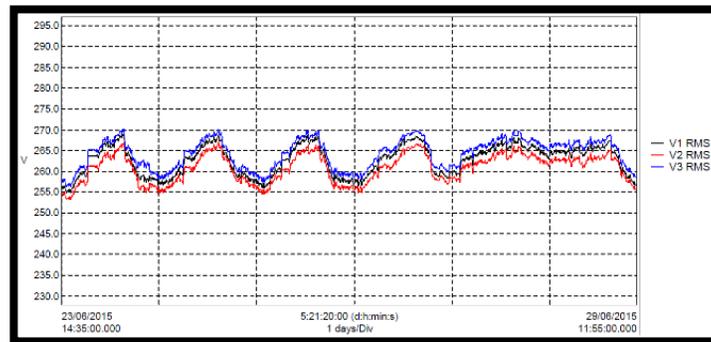
la figura 6, contra potencias de 102.4 kVA y de 101.12 kW real y aparente respectivamente. Ambas aumentaron un 20% en comparación con la auditoría anterior. Además el consumo promedio aumentó de 25 kVA hasta 46 kVA.

## 5.7 Transformador de 500 kVA.

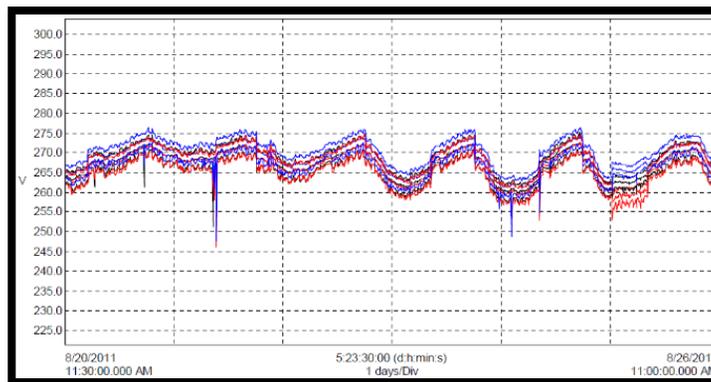
En el caso del transformador de 500 kVA, se utiliza para energizar los equipos de aire acondicionado que se utilizan dentro de las instalaciones de la USBI.

### 5.7.1 Voltaje.

El voltaje en las fases se mantiene en promedio en 265 V. En la figura 4.3-5 se puede apreciar el comportamiento del mismo.



(a)



(b)

**Ilustración 5.7-1 (a) Voltaje registrado durante junio 2015. (b) Voltaje capturado durante el año 2011. Gráficas de variación de voltaje en las 3 líneas del transformador de 500 kVA.**

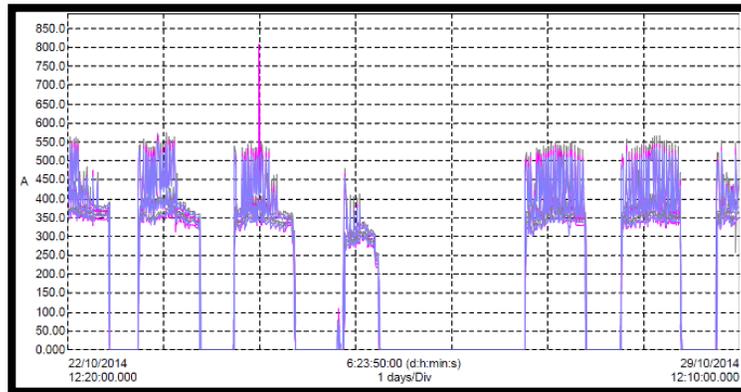
De igual forma, durante la recopilación de datos llevada a cabo en el año 2011 sobre éste mismo equipo, el voltaje en las fases se mantuvo en promedio en 267 V. En la figura 4.4 - 1 (b) se pueden apreciar caídas de voltaje, siendo estas a 246 y 247 V respectivamente, con duración inferior a diez minutos. Es posible observar que el voltaje no presenta cambios en ambos casos.

### 5.7.2 Corriente

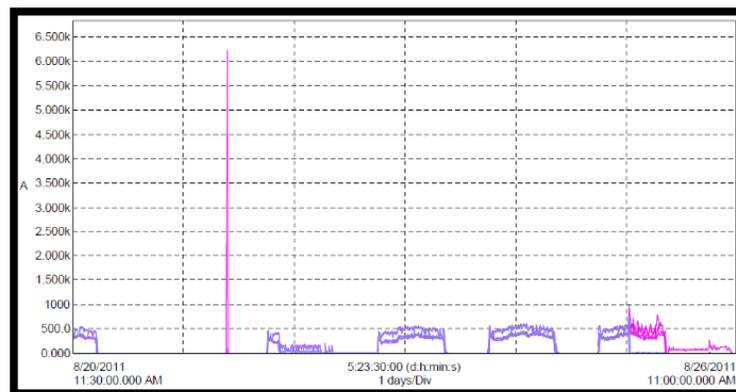
Para el caso de la corriente circulando en el transformador, durante la medición de parámetros podemos observar que de lunes a viernes presenta un comportamiento



distinto en comparación con los fines de semana, en ambos estudios que estamos comparando se presenta éste mismo caso. Durante las mediciones recientes tomadas en el 2015, se observó un amperaje de 300 a 390 amperes (figura 5.7-2(a)), para el día sábado ésta valor disminuye, manteniéndose en un rango de entre 260 a 310 amperes. Para el día domingo 28 de junio, se mantiene en 0 amperes para las 3 líneas del transformador.



(a)



(b)

**Ilustración 5.7-2 (a) Comportamiento de la corriente durante el 2015. (b) Variación de la corriente registrada en el 2011. Gráficas de la corriente medida en el transformador de 500 kVA.**

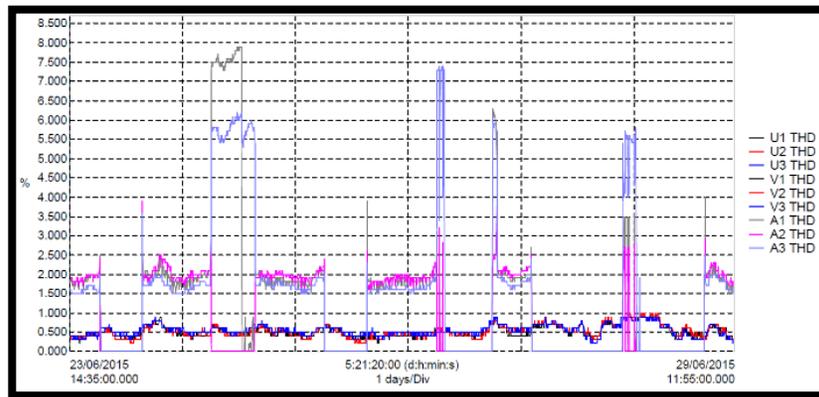
En la figura 5.7-2 (b), se puede observar el comportamiento de la corriente en las fases durante el 2011. Se presentaron valores en general, entre los 250 y 500 amperes. El día veinticinco a las 12:10 la corriente que circulaba en la fase 3 cayó bruscamente, manteniéndose de esta manera hasta el cierre de la biblioteca y continuando así hasta el día siguiente. Como después se supo, esta caída de corriente en la fase 3 se debió al incidente que resultó en el sobrecalentamiento del conductor.

En términos generales, el comportamiento de la corriente es también presentó una variación en ambos casos, siendo menor en la realizada en el 2015, no superando los 390 amperes. Mientras que anteriormente se tenían mediciones de 500 amperes, siendo significativamente menor.



### 5.7.3 Distorsión total armónica de voltaje y corriente.

En la figura 2.3-7, se muestran los valores registrados de distorsión total armónica de voltaje y corriente. En la gráfica de la figura 5.7-3 (a), se muestran los valores actuales, donde la distorsión armónica del voltaje se encuentra por debajo del límite permitido, oscilando entre el .5% y el 1%, teniendo picos de 1.4%. Para la distorsión total de la corriente se llegaron a registrar valores superiores máximos de 3.5% y un pico del 6.9%, manteniéndose muy por debajo del límite marcado, que es del 20%.



(a)



(b)

**Ilustración 5.7-3 (a) Valores obtenidos en la auditoría realizada en junio del 2015. (b) Valores obtenidos en la auditoría realizada en agosto del 2011. Gráficas del comportamiento de la distorsión total armónica de voltaje y corriente.**

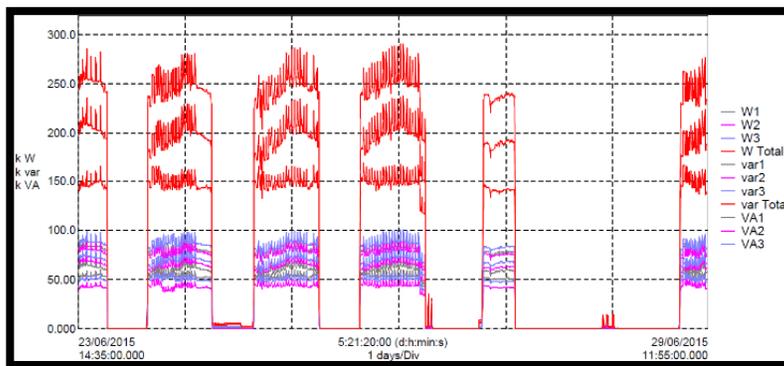
En el primer análisis realizado en el 2011, las variaciones de las armónicas de corriente y de voltaje, observándose en la figura 5.7-3 (b), que el porcentaje de distorsión total armónica para el voltaje alcanza valores inferiores al 1%. Para la corriente se alcanza valores promedios inferiores al 1.5% de corriente total armónica y valores máximos del 9% para la fase 2, ambos dentro del rango.

Comparando ambos resultados, notamos que en el caso de la armónica de voltaje, se ha mantenido en el mismo porcentaje, mientras que la armónica de corriente actualmente

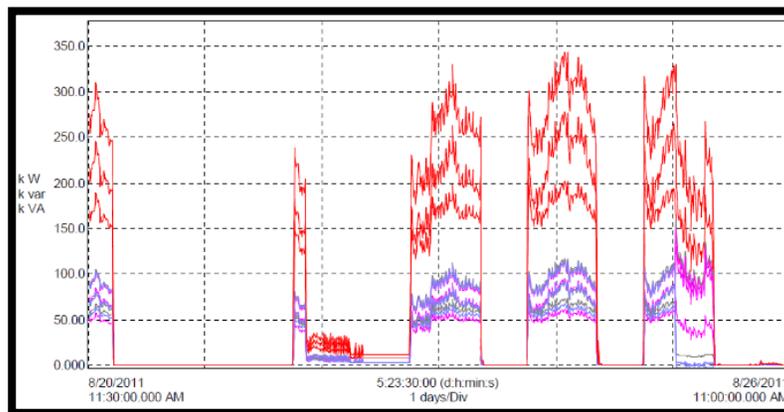
presenta valores tres puntos porcentuales menos que en el estudio realizado durante el 2011.

#### 5.7.4 Potencia real.

Se monitoreó también la variación de potencia real, aparente y reactiva. En los valores registrados recientemente, como se puede ver en la figura 5.7-4 (a), se registró un consumo de 78,41 kW de potencia real en promedio por cada una de las tres líneas y 95.11 kVA de potencia aparente, también para cada una. Se consumió en un momento pico, un máximo de 290 kVA, casi un 50% menos del máximo que el transformador puede aportar.



(a)



(b)

**Ilustración 5.7-4 (a) Datos recopilados en junio del 2015. (b) Datos obtenidos durante el año 2011. Gráficas que muestran la potencia real, potencia aparente y potencia reactiva en el transformador de 500 kVA.**

De igual forma, para el caso de los registros obtenidos durante éste ejercicio aplicado en el año 2011, la variación de potencia real, aparente y reactiva, cuyo resultado lo muestra la figura 5.7-4. Se alcanzaron valores promedio de 71.9 kW y 93.8 kVA para la potencia real y potencia aparente, respectivamente. Con lo cual, se puede observar que ambas potencias han aumentado ligeramente con el paso del tiempo.

Para poder investigar acerca de las conductas de los alumnos en cuanto al consumo de energía eléctrica por utilizar los contactos dentro de la FIUV ubicada en Boca del Río,



Veracruz; se diseñó un instrumento de recolección de datos que permitió adquirir la información requerida de parte de los encuestados.

Se midió también el consumo de energía eléctrica por energizar los dispositivos electrónicos de los alumnos dentro de la FIUV, así como el costo que esto genera; de igual manera se identificaron las principales áreas de mayor consumo. También se midió la diferencia del gasto energético real de equipos de oficina, comparando el dato proporcionado por el fabricante del mismo vs. el valor real medido al instante, teniendo los equipos en distintos momentos de trabajo. Para estos datos se utilizaron tablas de software Excel, englobando la obtención ponderada de la información y así poder calcular el costo que genera el uso de estos equipos.

## **5.8 Consumo energético de la comunidad estudiantil de la Universidad Veracruzana.**

Dentro de las instalaciones eléctricas que se encuentran funcionando en edificios donde el flujo de personas es elevado, tanto en el área industrial, el sector educativo y privado. Es por esto que mientras sea mayor el volumen de personas que utilizan dichas instalaciones, también aumentará el número de equipos que son energizados de forma variable por las mismas personas.

Es por eso, que para poder conocer el tipo de equipos electrónicos que la comunidad estudiantil de la UV, se realizó una encuesta para conocer los tipos de aparatos que se suelen energizar. Ésta encuesta se centró en la Facultad de Ingeniería (FIUV) y la frecuencia con que utilizan los contactos para energizar equipos personales. También se obtuvo como dato, el lugar más utilizado para realizar dicha actividad, ya sea en horas sin clase o en su caso durante alguna.

La muestra que se delimitó se enfoca a los estudiantes que acuden a las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UV. Son la población de mayor asistencia, por lo que el uso del consumo eléctrico de ellos es de un impacto relevante.

Por lo tanto, se tuvo un muestreo estadístico, delimitado sólo a la población estudiantil activa dentro del recinto universitario.

### **5.8.1 Medición de parámetros eléctricos.**

Se utilizó el equipo adecuado para comprobar el consumo eléctrico, el cual es llamado killawat. Se contó con el equipo marca Kill a Watt® GT, modelo P4480 como en la figura 5.8-1, el cual cuenta con las siguientes especificaciones:

- Modelo: P4480
- Rango de voltaje: 120 VAC
- Max Voltaje: 125V



- Max Corriente: 15A
- Max Potencia 1875 VA



Ilustración 5.8-1 Equipo marca “Kill-a-Watt”.

El killawatt funciona de la siguiente manera:

Se conecta a la alimentación eléctrica por medio de una clavija que entra dentro del contacto. Luego de encenderlo, se conecta el cable de alimentación en la parte posterior del wattmetro, la cual cuenta con las entradas adecuadas para conectar aparatos que manejen un voltaje de 120 volts. A partir de este momento, el wattmetro mostrará el consumo que realice el equipo conectado en él, marcando los kWh que se estén utilizando de forma instantánea.

Las mediciones se realizaron en tres momentos: durante el arranque del equipo, mientras permanecía en stan by y mientras realizaba una tarea en específico, tomando el mayor valor de potencia registrado por el medidor utilizado. Los resultados que se consiguieron fueron los siguientes:

### 5.8.2 Resultados de la encuesta.

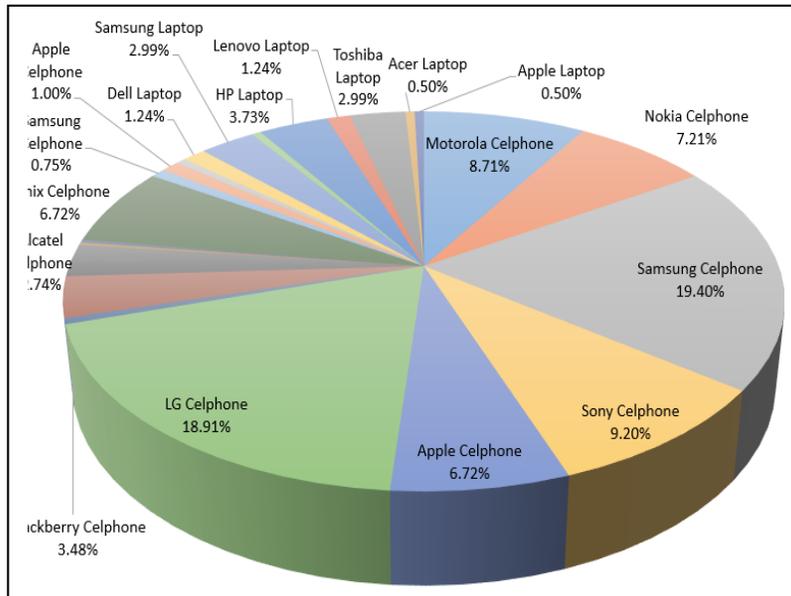
De una población de 2400 alumnos, y para un nivel de confianza del 95%, el tamaño de la muestra según el software “Decision Analyst STATS 2.0” es de 331 alumnos a encuestar. Sin embargo, el número de estudiantes que respondieron la encuesta superó este valor y se fijó en 500 estudiantes, alcanzando la siguiente información:

445 consultados utilizaban los recursos de la FIUV para energizar sus dispositivos, mientras que 55 de ellos no contaban con dispositivos qué abastecer dentro de las instalaciones. Se logró observar que los lugares donde más se consume energía para alimentar equipos propios de los estudiantes es dentro de las aulas, siendo la cafetería el segundo lugar más utilizado por la comunidad estudiantil para abastecer sus dispositivos de energía eléctrica.

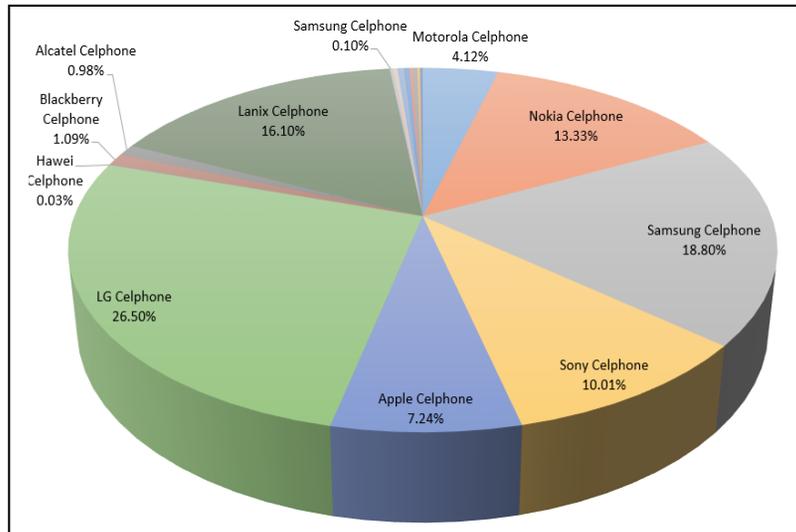


EL 86% de los equipos eran de telefonía celular, mientras que el 14% restante era equipo de cómputo. También se pudo conocer que la marca que más se utiliza en celulares, es la marca Samsung. El resultado en porcentajes se puede observar en la figura 5.8-2.

Al calcular el consumo de kWh se obtuvo el porcentaje de consumo por equipo que se muestra en la figura 5.8-3. La suma del total del consumo por kWh de todos los equipos que se obtuvieron de las encuestas, se tiene un total de 429.79 kWh de consumo de energía eléctrica.



**Ilustración 5.8-2 Cantidad de equipos electrónicos personales en la FIUV.**



**Ilustración 5.8-3 Consumo energético en kWh**

Para poder calcular el costo de la facturación eléctrica, se fijó un precio tasado en \$1.7 M.N, esto debido a que los horarios en que se labora dentro de las instalaciones educativas de la FIUV están dentro de los horario marcado por Comisión Federal de



Electricidad, como hora intermedia y punta. Con éste dato se tiene el costo por equipo que se puede observar en la figura 5.8-4. La facturación total de los equipos sería de \$730.65 M.N. por alimentar el total de equipos durante una hora.

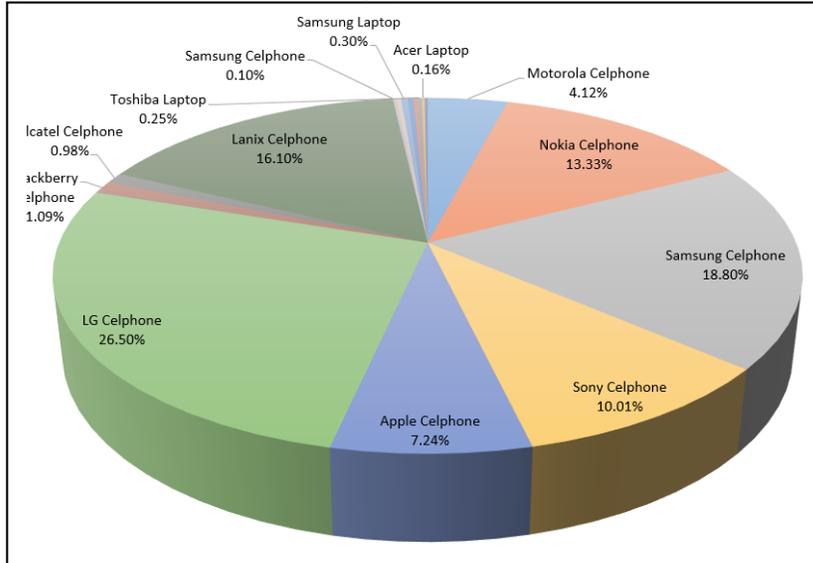


Ilustración 5.8-4 Costo por el consumo.

Se recolectaron los recibos de luz facturados y pagados durante el lapso de noviembre del 2013 hasta enero del 2014, teniendo los pagos un costo mostrado en la figura 5.8-5.

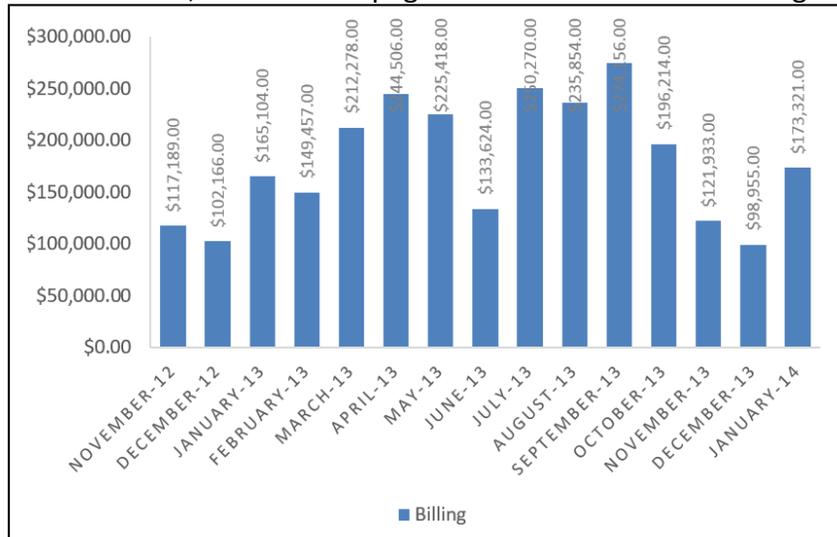


Ilustración 5.8-5-Consumo eléctrico de la FIUV.

### 5.9 Comparación consumo real VS consumo de fábrica.

Se buscaron equipos que se utilicen diariamente dentro de las actividades de la FIUV, teniendo 14 equipos medidos, siendo los siguientes:



Microhondas, impresora SAMSUNG, Cañon OPTAMA, Frigobar, CPU HP, HP multifuncional, Laptop VAIO, Computadora hp Compaq Pro 4300, Laptop DELL, MiniLaptop DELL, Monitor HP, Escaner EPSON, Disco Duro TOSHIBA, Modem MARCA.

Al conectar la alimentación de los equipos al wattmetro utilizado, se tomaron tres medidas: al arranque, durante la realización de la labor normal del equipo y mientras se tenía el equipo en stand by. Las mediciones que se obtuvieron se muestran en la figura 5.9-1.

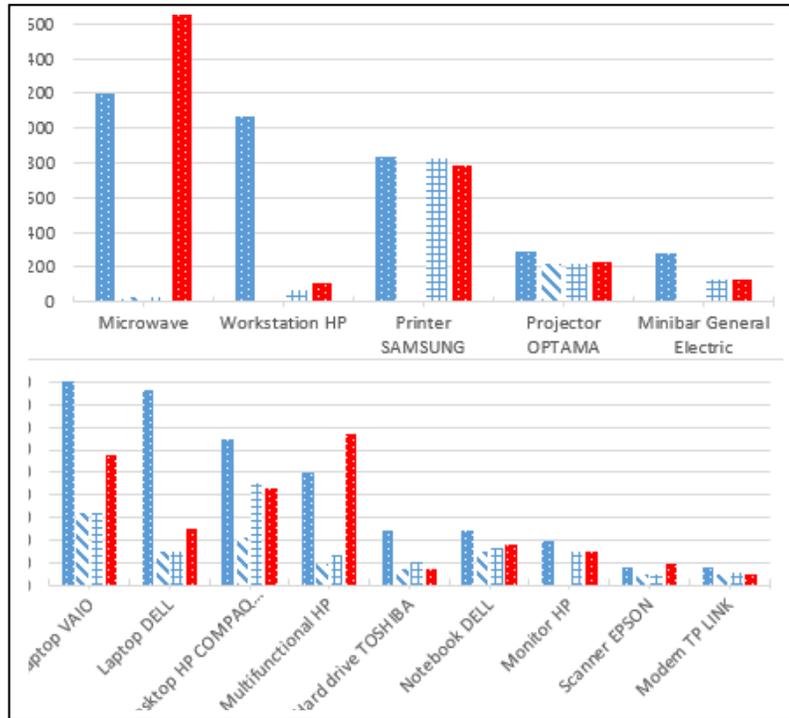


Ilustración 5.9-1 Consumption of watts by gadget.

### 5.10 Equipos utilizados dentro de las instalaciones.

Para poder conocer el consumo real específicamente dentro del reflexionario, se realizó un levantamiento físico para conocer los equipos utilizados, la cantidad de ellos y su consumo energético, obteniendo los datos de la tabla 4. Se describen equipos tales como lámparas, computadoras, refrigeradores, entre otros. También se encuentran presentes lámparas LED, cámaras y bocinas, debido a los eventos musicales y culturales que se presentan como parte del uso de las instalaciones.



Tabla 3 Equipos utilizados dentro del reflexionario “Mocambo”.

Equipo	Cantidad	Consumo (W)	Horas de utilización	W-hora
Foco ahorrador	15	25	12	4500
Lampara flourecene	3	23	12	828
Dispensador agua	1	500	12	6000
Cafetera espresso	1	1600	4	6400
Molino café	1	166	4	664
Monitor	1	12	12	144
Impresora ordenes	1	36	10	360
CPU	1	135	12	1620
Monitor	1	12	12	144
Refrigerador	2	370	24	17760
Sandwichera	1	750	4	3000
Microhondas	1	750	5	3750
Licuada	2	300	3	1800
Cafetera	1	900	1	900
Refrigerador	1	180	24	4320
Tel Inhalambrico	1	0.9	6	5.4
Lavabajillas	1	1500	1	1500
camara de seguridad	2	6	24	288
cañon INFOCUS	1	240	2	480
camara SOVICE four JR	4	575	2	4600
Chauvet Lampara LED	3	170	2	1020
Lampara LED	2	120	2	480
Speaker KAISER	1	200	2	400
Phonic 620	2	150	2	600
Laser	2	10	2	40
Lampara LFC 222B	17	52	6	5304
Ventilador	1	60	6	360
	<b>TOTAL</b>	<b>8842.9</b>	<b>TOTAL</b>	<b>67,267.40</b>

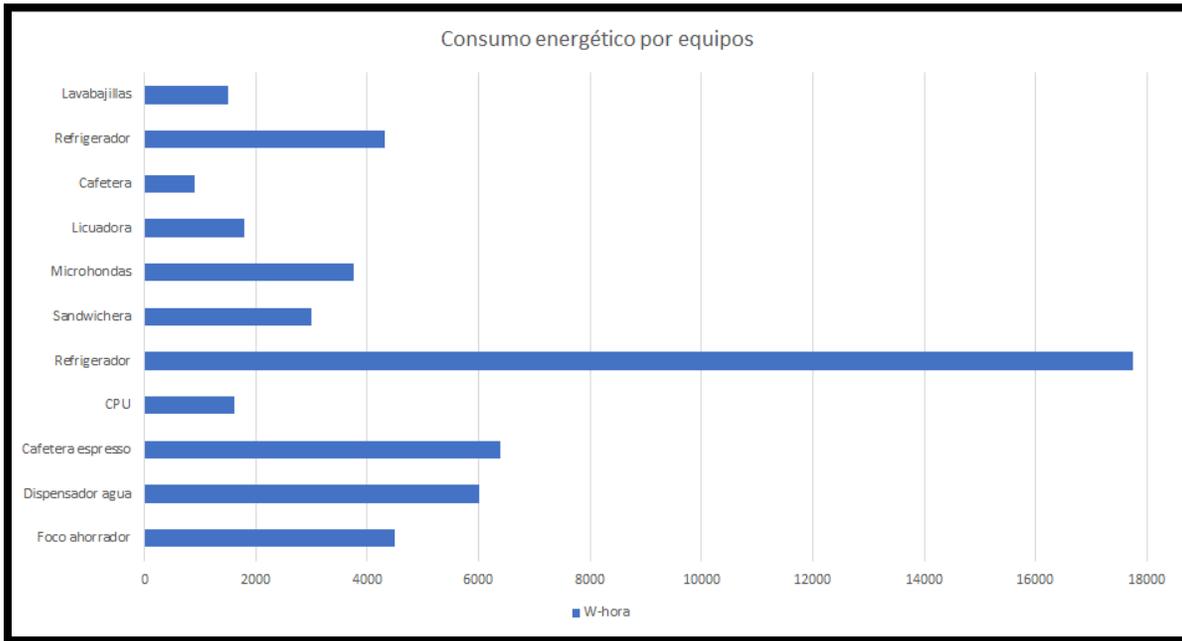
Fuente: Elaboración propia.

Los refrigeradores son los equipos que más se utilizan diariamente, pues se mantienen las 24 horas en funcionamiento. Así mismo, el microondas es un equipo que eleva el consumo al ser un lugar de consumo de alimentos, además de la lava vajillas. El total del consumo diario es de 67.26 kW.

La figura 5.10-1 muestra una comparación entre los principales equipos que consumen energía en las actividades normales dentro del reflexionario y el área de cafetería de la



USBI, incluyendo el área del escenario presente en él, la cocina y el circuito de iluminación que utilizan diariamente.



**Ilustración 5.10-1 Consumo de los principales equipos utilizados.**

También se cuenta con un equipo de aire acondicionado (AA), pero éste se despreció para éste estudio, debido a que las instalaciones de la USBI cuentan con un transformador exclusivo para todo el sistema de AA instalado en el área de la biblioteca, incluidas las oficinas, salas de estudio y la cafetería. Por lo anterior, no se incluyó en la contabilización del consumo energético que se utilizará para diseñar el SFV.

## 5.11 Diseño del sistema fotovoltaico.

### 5.11.1 Recurso solar en la USBI, campus Veracruz.

Para diseñar el sistema fotovoltaico interconectado a la red se tomará el consumo promedio de energía de 67.26 kW-h., primero calculando un factor de seguridad por encima del mismo por un 20%, teniendo éste porcentaje como seguridad para poder contar con la potencia necesaria, teniendo así un consumo promedio diario, según las horas de consumo de cada equipo, de 80.72 kW-h. Con este dato calcularemos las características del arreglo, los módulos fotovoltaicos, el inversor, los conductores y las protecciones eléctricas.

Por la ubicación geográfica, tiene coordenadas geográficas 19°09'36.0"N 96°06'35.9"W con una irradiación máxima de 5.46 kW-h/m<sup>2</sup> durante el mes de mayo (ver Tabla 5). El recurso solar disponible de la zona durante el resto de los meses es el que se muestra en dicha tabla.



**Tabla 4 Valores de irradiación para la ciudad de Boca del Río, Veracruz.**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
kWh/m <sup>2</sup>	3.65	4.23	4.86	5.35	5.46	5.07	5.27	5.05	4.46	4.29	3.95	3.55	TOTAL
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Mensual	113.2	118.4	150.7	160.5	169.3	152.1	163.4	156.6	133.8	133	118.5	110.1	1679.37

**Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy. Atmospheric science data center.**

Para obtener el número de paneles fotovoltaicos en el sistema propuesto se determinó a través de la potencia obtenida mediante la fórmula:

$$Potencia\ requerida = \frac{Energía \left( kW * \frac{h}{diarias} \right)}{Irradiación\ del\ lugar * Eficiencia\ (0.9)}$$

$$= \frac{80.72\ kW * \frac{h}{diarias}}{5.42 * 0.9} = 16,426.72\ kW$$

### 5.11.2 Potencia de los módulos fotovoltaicos

Tomando en cuenta la potencia requerida se procede a determinación del arreglo fotovoltaico con las características técnicas de los paneles solares y de los inversores, el estudio se realizó a través de una hoja de cálculo en Excel con fórmulas en las celdas para ajustar las variables de potencia, voltaje y corriente de acuerdo al número de módulos fotovoltaicos en serie y en paralelo, de tal manera que estos parámetros estén dentro del rango de entrada de entrada del inversor.

Con esta referencia se investigó distintos tipos de equipos que trabajan a 500 V como máximo para cumplir con los datos de entrada del inversor, se utilizó el Excel para ingresar los datos y fórmulas para hacer el resto de los cálculos. Para este diseño del SFV, en los arreglo se tomó el panel fotovoltaico RED SOLAR Modelo RED260-60P.

Las características técnicas se describen más adelante, este panel policristalino de 60 celdas solares, tiene una eficiencia del 18.34%, cuenta con un diodo de bypass para minimizar las pérdidas por sombras. Sus medidas son 1.96 X .99 m. de largo y ancho, lo cual resulta un área de utilización de 1.94 m<sup>2</sup> por cada panel, por otro lado, se calculó los parámetros de la localidad en las condiciones SCT y NOCT proporcionados por el fabricante, mostrados a continuación:



$$\text{Condiciones SCT} \begin{cases} G = 1000 \frac{W}{m^2} \\ T_{celda} = 25 \text{ } ^\circ C \end{cases}$$

$$\text{Condiciones NOCT} \begin{cases} G = 800 \frac{W}{m^2} \\ T_{ambiente} = 20 \text{ } ^\circ C \end{cases}$$

### 5.11.3 Cálculo de los efectos por la temperatura.

Tomando en cuenta las condiciones SCT y NOCT del módulo fotovoltaico, se calculó la variación voltaje y corriente debido a los efectos de la temperatura, para esto primero se determinó la constante  $C_1$  a partir de las fórmulas:

La temperatura de la celda en función de la irradiancia es:

$$T_{celda} = T_{amb} + C_1 G$$

$$T_{c(NOCT)} = 20 + C_1 * 800 \frac{W}{m^2}$$

$$45 = 20 + C_1 * 800 \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{25}{800 \frac{W}{m^2}} = C_1$$

$$C_1 = 0.03125 \text{ } ^\circ C \frac{m^2}{W}$$

Con el valor de  $C_1$  calculado se determina la temperaturas de celda de la localidad, es decir con una temperatura promedio ambiente de  $26 \text{ } ^\circ C$  para la localidad de Boca del Río, la temperatura de celda es de  $56.25 \text{ } ^\circ C$  con un gradiente de temperatura de  $30.25 \text{ } ^\circ C$ , por lo tanto, con este gradiente se calcula los porcentajes de variación de la potencia, voltaje y corriente con respecto a la temperatura.

$$T_c = 26 \text{ } ^\circ C + \left(0.03125 \text{ } ^\circ C * m^2/W\right) 1000 \frac{W}{m^2} = 56.25 \text{ } ^\circ C$$

$$\text{Gradiente de Temperatura } \Delta T = T_{c(amb)} - T_{sct}$$

$$\Delta T = 56.25 - 26 = 30.25 \text{ } ^\circ C$$



$$\frac{\partial P_M}{\partial T} = (30.25)(-0.47) = -14.22 \%$$

$$\frac{\partial V_{MP}}{\partial T} = (30.25)(-0.51) = -15.43 \%$$

$$\frac{\partial I_{PM}}{\partial T} = (30.25)(0.0065) = 0.20 \%$$

$$\frac{\partial V_{OC}}{\partial T} = (30.25)(-0.34) = -10.29 \%$$

$$\frac{\partial I_{CC}}{\partial T} = (30.25)(0.045) = 1.36 \%$$

Como se observa los valores de los voltajes decrecen considerablemente con respecto a la temperatura, mientras que la corriente aumenta ligeramente. Lo anterior se verifica al calcular nuevamente los parámetros de acuerdo a la localidad y a la temperatura ambiente promedio. Obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 5 Datos del panel fotovoltaico utilizados.**

<b>Generador fotovoltaico CS5P-260M</b>		
<b>Pm</b>	223.0345	Watts
<b>Vmp</b>	25.73541175	Volts
<b>Imp</b>	8.556791775	Amperes
<b>Voc</b>	33.302208	Volts
<b>Icc</b>	9.781360625	Amperes

**Fuente: Datos obtenidos para el módulo fotovoltaico marca RED SOLAR.**

#### 5.11.4 Cálculo y selección del inversor

Los voltajes mínimo y máximo de operación y rendimiento óptimo es de 210 a 480 V respectivamente con un eficiencia del 97.4%, factor de potencia uno y una frecuencia de 60 Hz los datos están registrados en la tabla 7. Los datos de salida de este inversor se utilizan para determinar la potencia que suministrará a la carga del sistema.



**Tabla 6 Datos del inversor utilizado en el proyecto.**

Inversores	
Potencia (W)	6300
Voltaje MPP (V)	
Mínimo	210
Maximo	480
Corriente Máxima Entrada	
30	
Potencia AC	5200
Frecuencia (Hz)	60

**Fuente: Datos del proveedor INTERTEK.**

Con los parámetros locales obtenidos de los módulos solares RED260-60P, determinamos la potencia óptima del inversor y el arreglo de los módulos fotovoltaicos.

$$Modulos\ en\ serie = \frac{Voltaje\ máximo\ de\ entrada\ al\ inversor}{Voltaje\ del\ módulo\ a\ circuito\ abierto} = \frac{480}{33.30}$$

El resultado muestra que se requieren 14.41 paneles en serie, por lo cual redondeamos a 14 paneles. Se muestra en la siguiente tabla los resultados de voltaje y cantidad de paneles solares necesarios:

**Tabla 7 No. De módulos en serie.**

Módulos en serie	Voltaje de todos los paneles
14.41	466.23 volts

**Fuente: Cálculos propios.**

El voltaje máximo de entrada del inversor para un rendimiento de máxima potencia (MPP) es de 480 V y el voltaje de los catorce módulos en serie a circuito abierto es de 466.23 V., esto significa que el sistema seguirá funcionando y suministrando energía a la red de forma adecuada.

$$Voltaje\ MP\ de\ los\ 14\ módulos\ en\ serie = 25.73 * 14 = 360.29\ volts$$

$$Corriente\ de\ entrada\ al\ inversor = \frac{6300}{360.29} = 17.48\ Amperes$$

Para calcular los módulos en paralelo, se realiza la siguiente operación:

$$Modulos\ en\ paralelo = \frac{17.48\ Amperes}{9.78} = 1.78$$

$$Corriente\ de\ máxima\ potencia = 8.55\ amperes * 2 = 17.11\ Amperes$$



Tabla 8 No. De módulos en paralelo.

Módulos en serie	Corriente máxima.
1.78	17.11 A.

Fuente: Cálculos propios.

El diseño óptimo para este proyecto es de catorce módulos en serie por dos en paralelo para suministrar un voltaje de potencia máxima a 360.29 V y una corriente de máxima potencia 17.11 A, para una potencia máxima de entrada al inversor de 6165.95 W, las características del inversor están dentro de estos rangos. Para conocer la potencia instalada está dada por:

$$Potencia\ instalada = V_{mp} * I_{mp} * SFV$$

$$PI = 25.73\ volts * 8.55\ amperes * 84 = 18.49\ kW.$$

Este diseño está conformado por 14 módulos de 260 W de potencia en serie por 2 en paralelo haciendo un total 28 módulos por cada arreglo, se requiere de 3 arreglos iguales con un inversor de 6300 W cada uno, mientras que por los tres arreglos fotovoltaicos se tiene una potencia de 18.49 kW, cubriendo las necesidades energéticas y además suministrará a la red 2.071 kW, esto proporcionará un respaldo energético de 755.96 kW-h anuales, con un total de 84 módulos.

### 5.11.5 Diagrama de bloques

El diagrama de bloques es la representación gráfica del funcionamiento interno de un sistema, que se hace mediante cuadros, además definen la organización de todo el proceso interno, sus entradas y sus salidas. En el diagrama de la Figura 5.11-1 se muestran en bloque los principales componentes del sistema.

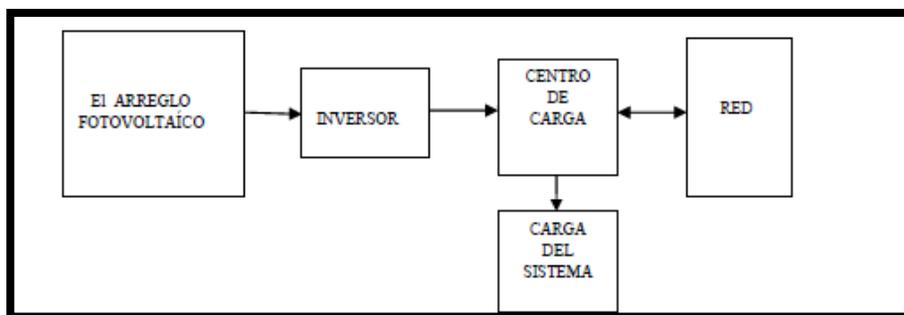


Ilustración 5.11-1 Diagrama de bloques del SFV para la cafetería de la USBI, campus Veracruz.

### 5.11.6 Diagrama unifilar

Un esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica de un sistema trifásico. El esquema unifilar se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores, en la Figura 5.11-



2, se muestra el diagrama unifilar para el sistema y la secuencia de la interconexión a la red.

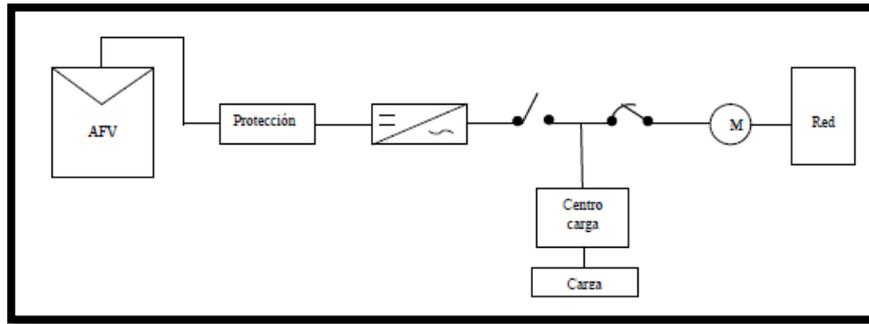


Ilustración 5.11-2 Diagrama unifilar propuesto.

### 5.12 Análisis económico del SFV

Si consideramos que se solicita la compra 84 paneles solares de la marca RED SOLAR modelo RED260-60P y tres Inversores INTERTEC modelo SUNNY BOY 6000TL-US, la inversión total asciende a \$771,641.65 pesos, tal y como se muestra en la Tabla 39. Si consideramos que la potencia requerida en el Reflexionario es de 16.40 kW, el precio en pesos por Watts generados es de \$1.11 pesos, según la media del costo del último año por parte de Comisión Federal de Electricidad para una tarifa O-M.

La tabla siguiente muestra los costos totales del proyecto. En el apartado de “Otros”, se incluyen los insumos necesarios para instalar las bases de acero donde irán instalados los paneles, como lo son tornillos o taquetes. Además de incluir también el cableado y material necesario para realizar la instalación eléctrica de los paneles.

Tabla 9 Análisis económico del proyecto.

Equipos	Marca	Modelo	Precio (dolares)	Precio (pesos)	Cantidad	Total (Pesos)
Módulos FV	RED SOLAR	RED260-60P	\$345.27	\$6,377.14	84.00	\$535,679.50
Inversores de CD/AC	INTERTEC	SUNNY BOY 6000TL-US	\$2,000.99	\$36,958.29	3.00	\$110,874.86
Acero galvanizado	3 grupos de 28 paneles c/u	Varios	\$385.00	\$7,110.95	5.00	\$35,554.75
Kit conectores	Tipo paralelo	BC	\$500.00	\$9,235.00	20.00	\$184,700.00
Otros	Varios	Varios	\$9,000.00	\$166,230.00	Varios	\$166,230.00
					TOTAL	\$1,033,039.11

Fuente: Cálculos propios.

Nota: Precios a Agosto del 2016.

Si el sistema propuesto produce 18.49 kW-h, y tomando un valor de \$0.865 pesos como pago a Comisión Federal, debido a que los paneles solares sólo generan electricidad durante el horario de energía intermedia, se tendría un reflejo de un ahorro de \$10, 654.8 pesos de forma mensual. En contraste, la facturación eléctrica de la USBI- Veracruz tiene



un valor promedio de \$370,000.00 pesos, reduciendo un 3% el costo promedio que mensualmente se destina al pago por consumo de electricidad.

La recuperación de 8 años y 1 mes. La vida útil de éstos paneles es de 25 años, restando el tiempo de recuperación tenemos 17 años restantes, los cuales dejarán un ahorro total de \$ 1,543,236.10 pesos, con lo cual se ve reflejado el beneficio de realizar una instalación de SFV.

# **CAPÍTULO 6**

---

## **Conclusiones y Recomendaciones.**

---



Los resultados obtenidos en el diseño de un sistema de iluminación por paneles fotovoltaicos para el reflexionario ubicado en la USBI-Veracruz, muestra que la energía solar es una inversión a largo plazo que trae soluciones de ahorro económico, pues en menos de 10 años se realiza una recuperación de la inversión propuesta con la tecnología con que se planteó el proyecto, además de que la vida útil promedio de los paneles solares actuales es de 25 años. La hipótesis planteada al inicio del estudio se cumplió al generar un dimensionamiento adecuado de un sistema de paneles fotovoltaicos, proporcionando un ahorro económico al suministrar energía eléctrica aprovechando la cantidad de energía solar presente en la ciudad de Boca del Río, Veracruz.

Con la inversión para realizar éste proyecto, la cual es de \$1 033 039.11 pesos, la administración de la USBI-Veracruz mostraría un ejemplo para la formación de los profesionistas que están siendo formados por la Universidad Veracruzana que, es posible aplicar fuentes renovables para generar energía, las cuales podrán ser aplicadas por ellos cuando laboren dentro de la industria, ayudando al cuidado del medio ambiente y promoviendo el ahorro económico en las mismas.

Así mismo, después de recuperar la inversión, se tendrá la posibilidad de continuar con un aprovechamiento de los equipos instalados, en los cuales el ahorro seguirá siendo palpable, siendo éste de aproximadamente \$1 543 236.10 pesos por continuar trabajando al menos 16 años después de haber recuperado la inversión inicial. Lo anterior es calculado utilizando los precios actuales del kW/h por parte de CFE.

Los equipos que son energizados con cualquier instalación eléctrica pueden llegar a variar en cualquier lapso de tiempo. Al realizar el diseño propuesto de paneles fotovoltaicos se mantuvo un 20% de factor de seguridad, lo cual permitirá aumentar el número de equipos energizados a través del mismo sistema que proporciona 18.4 kW de potencia. Al realizar la auditoría energética, se encontró que al momento de realizar éste proyecto se contaba con 80 equipos o puntos de consumo energético, dentro de los que destacan refrigeradores, lámparas y contactos que ocupan los estudiantes.

La encuesta realizada dentro de la comunidad estudiantil de la FIUV, muestra que los equipos celulares y computadoras personales son los equipos que más se energizan dentro de las instalaciones de la UV. Por lo cual en un futuro será conveniente promover, dentro de una futura auditoría energética que permita dar seguimiento al consumo dentro del reflexionario, campañas de ahorro de energía, las cuales ayudan a mantener una mentalidad de ahorro dentro de las personas a las cuales va dirigida. Lo anterior ha resultado en un ahorro y disminución del consumo energético en empresas dentro del sector industrial. En ellas se han realizado auditorías energéticas, pues los trabajadores son quienes tienen un impacto mayor al utilizar los equipos con los que realizan sus labores.



Otro beneficio que se obtendría, sería la sombra generada por el área que ocupan los paneles, pues puede ser aprovechada para brindar comodidad a los ocupantes del reflexionario, dando pie proyectos futuros de diseño bioclimático, donde se realice una adecuación a las instalaciones físicas de la construcción del área de la terraza, aprovechando la sombra brindada por los paneles y aplicando distintas técnicas que provean de una sensación térmica cómoda sin uso de equipo de aire acondicionado.

La disminución de la facturación eléctrica es la principal ventaja de utilizar paneles fotovoltaicos, siendo además que se tiene también, en el caso del proyecto planteado en éste trabajo, la oportunidad de dar oportunidad a beneficiarse de la sombra otorgada por los paneles, dando pie a para generar un diseño bioclimático adecuado en un futuro con un proyecto que complementa al presente trabajo. También la desventaja principal del mismo es que cabe la posibilidad de que los equipos que se energicen con los paneles propuestos tengan un consumo mayor al propuesto, y con el tiempo el ahorro económico sea menor al planteado. Dicho ahorro también puede variar de acuerdo a la cantidad de energía solar que reciban los paneles fotovoltaicos, por lo cual es que se ha propuesto la instalación interconectada a la red eléctrica, lo cual asegura un constante suministro energético para el reflexionario.

Las ventajas de las mismas es obtener un panorama general de los equipos con los que consumen energía eléctrica dentro del sistema eléctrico, tal como muestra éste trabajo al mostrar la cantidad de equipos y sus horas de trabajo. Lo anterior permite saber qué equipos son necesarios, además de identificar puntos de fuga energética. La misma arrojó que los 80 equipos energizados dentro del reflexionario, tienen un consumo de 67.26 kW diariamente. Una desventaja de dichas auditorías es que las propuestas de ahorro o los cambios en los hábitos de consumo propuestos requieren de un seguimiento constante para obtener resultados inmediatos y que perduren con el tiempo, pues requieren de la atención y compromiso de las personas que laboran dentro de las instalaciones analizadas, que en éste caso es el edificio de la cafetería de la USBI.

La principal recomendación para poder obtener un beneficio mayor del uso de los paneles fotovoltaicos es continuar promoviendo las auditorías energéticas, pues éstas causan un impacto inmediato no sólo en instalaciones como las de la USBI-Veracruz, sino también en el sector de la industria, donde incluso el ahorro es mayor debido a los equipos que se utilizan. También, al dar un mayor seguimiento al ahorro energético, es posible promover dentro de la sociedad un mayor sentido de cuidado del medio ambiente. Lo anterior es necesario especialmente dentro del sector estudiantil, pues la UV tiene la oportunidad de sembrar en su comunidad estudiantil un mayor sentido de protección ambiental y uso eficiente de la energía, lo cual llevará en un mediano plazo a tener profesionistas que lleven a su vida laboral dicha forma de desarrollarse dentro de la industria.

Según la tendencia mostrada en la encuesta que se aplicó, el número de personas que cuentan con uno o más aparatos de telefonía celular, cómputo o tabletas, podría tender a elevarse, con lo cual el problema del consumo energético también podría aumentar,



siendo necesaria la concientización del consumidor, proporcionando información que promueva el ahorro y mejorar la eficiencia de las actividades que requieren energía.

Como se pudo observar, un ahorro del 20% en la facturación eléctrica es posible al regular o controlar el número de aparatos conectados en los contactos presentes en la cafetería de la USBI, siendo un ejemplo que puede extrapolarse a cualquier entidad educativa, hogar o empresa del sector industrial, lo cual muestra que los programas de ahorro de energía son redituables en un plazo inmediato cuando se logra captar el apoyo de toda la comunidad que energiza los equipos con los que cuenta.

También se comprobó que el dato de placa que proporciona el fabricante es sólo una guía para conocer el consumo eléctrico de los equipos, pues como se pudo demostrar, hay momentos en que, al realizar una tarea, los equipos varían su consumo, y normalmente una acción que se tiene, como lo es el mantener los equipos en stand by, se continúa utilizando energía eléctrica, siendo esos momentos donde se tienen fugas de energía, siendo posible corregirlas y ahorrarlas con cambios en la forma en que utilizamos los equipos con los que se cuenta en oficinas, hogares o industrias.

Como parte de una recomendación clara, el momento del arranque de un equipo o dispositivo electrónico, es donde más atención se debe tener, ya que es en esta condición en la que el equipo, puede consumir más energía, por lo tanto mantener los equipos electrónicos en stand by puede ser más económico que estar apagándolos y prendiéndolos continuamente, pero siempre hay que examinar cuidadosamente el caso.

Los programas de ahorro han demostrado tener resultados favorables inmediatos, y especialmente dentro de una institución que forma ingenieros, es recomendable que se forme a las futuras generaciones, hasta de posibles científicos del país, para que la cultura de la optimización energética empiece a esparcirse y a ser parte de la sociedad, teniendo la oportunidad de fomentarla dentro de la UV para ser ejemplo de conocimiento y aprovechamiento en el tema energético, tópico que ha sido relevante en los últimos años dentro de nuestro país.

Así mismo se recomienda dar seguimiento a un plan de ahorro enfocado a las personas que utilizan las instalaciones eléctricas. Dicha recomendación es de gran importancia no solo para éste proyecto, sino para cualquier instalación eléctrica, pues al mentalizar a las personas que utilizan cualquier sistema eléctrico es que se obtendrán resultados positivos y un mayor ahorro al seguir las recomendaciones de una auditoría energética.

Al realizar éste proyecto, fue posible palpar la indiferencia de una parte de la población hacia su consumo energético, lo cual fue posible observar al obtener los resultados de la encuesta aplicada a un porcentaje de los estudiantes de la FIUV. La parte que, a título personal, me impactó más al realizar la maestría en Ingeniería Aplicada, fue el diagnóstico y uso eficiente de la energía. Esto debido a que dicha situación afecta no sólo en lo personal, sino en lo colectivo.



Así mismo, como es posible observar en el artículo en el cual se participó en el congreso internacional IEEE International Engineering SUMMIT del año 2016 titulado “Exploratory Study to Determine whether Mexico is Able to Reuse Spent Nuclear Fuel”, actualmente es posible aplicar mejoras en la aplicación de la generación eléctrica antes, incluso, de pensar en buscar cambiar las fuentes con las que se cuenta en la actualidad en el país. Pues los expertos consultados al realizar dicho artículo mencionaron que, primeramente, se deben cuidar las normas de calidad y seguridad, lo cual reflejará directamente un mejor uso y una generación energética más eficiente.

Para finalizar, agradezco a CONACYT por el apoyo brindado en la realización de los estudios de maestría, así como en la realización y participación en congresos, los cuales apoyan a la formación de maestros que puedan apoyar e impactar de forma positiva en la industria de México y del mundo. Así mismo podemos decir que el camino de las energías renovables está en marcha y es aceptado por la sociedad debido a las múltiples ventajas que tiene y que es consecuencia del cambio climático de la emisión de los gases combustibles que gran parte de ellos provenientes de la generación de energía, es lógico suponer que el sector fotovoltaico experimentará un gran impulso en los próximos años, con el consiguiente beneficio ecológico y al mismo tiempo abrirá un gran abanico de posibilidades a la industria fotovoltaica y a los inversionistas públicos o privados que apuesten por esta tecnología.

# **CAPÍTULO 7**

---

## **Bibliografía.**

---

1. Alcocer, J.M. (2008), Recursos naturales y sustentabilidad, fondo editorial de Nuevo León México.
2. Almanza R., Muñoz F. (1994), Ingeniería de la Energía Solar. El Colegio Nacional, México.
3. Araya, V. (2010), Evaluación técnica y económica de la utilización de paneles fotovoltaicos en la iluminación de áreas comunes de edificios, España.
4. Bahaj A., Myers L., James P. (2007), Urban energy generation: influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings, *Energy and Buildings* 39, Reino Unido, pp. 154–165.
5. Bayle, G. (2012), *Renowable energy, power for a sustentable future*. Third edition. Ed oxford, England.
6. Bertoldi P., Conti F., Berrutto V. (2000), The European strategy for reducing stand-by losses in consumer electronics: status and results, *Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. Pacific Grove (CA), Estados Unidos, pp. 7.1–10.
7. Brown N., Bull R., Faruk F., Ekwevugbe T (2012), Novel instrumentation for monitoring after-hours electricity consumption of electrical equipment, and some potential savings from a switch-off campaign, *Energy and Buildings* 47, Reino Unido , pp. 74-83.
8. Cagri Sahin M., Aydinalp Koksall M. (2014), Standby electricity consumption and saving potentials of Turkish households, *Applied Energy* 114, Turquía, pp. 531 – 538.
9. Calva J. L., Alarcón G. (2007), *Política energética volumen 8*, Editorial Porrúa, España.
10. Casas V. M., Rodríguez A. (2012), *Biblioteca de Electricidad y electrónica SERIE 1*, Editorial Altamar S.A., España
11. Cogan D., Camilleri M., Isaacs N., French L. (2006), *National Database of Household Appliances—Understanding Baseload and Standby Power Use*, *Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting conference London*, Londres.
12. Coleman M., Wright A., Brown N (2009), Residential consumer electronics appliance monitoring: a practical perspective and implications for inter-disciplinary research, *Proc. of the 5th International Conference on Energy Efficiency on Domestic Appliances and Lighting EEDAL*, Alemania.
13. Domínguez, H., Ramírez, A. (2012), *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica*, Universidad Veracruzana, México.
14. Donal G. F. (2008), *Manual de Ingeniería eléctrica*, Editorial Mc. Graw Hill, México
15. Duffie J., Beckman W. (1991), *Solar engineering of thermal process*. Second edition, U.S.A.
16. Escudero L. J.M. (2008), *Manual de Energía Eólica Colección de Energías Renovables*, España
17. Fernández, P. (2009), *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil*, Universidad Carlos III de Madrid, España.



18. Fiestas B. (2011), Ahorro energético en el sistema eléctrico de la Universidad de Piura-Campus Piura, Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Perú, pp. 17 – 18.
19. Firth, S., Lomas K., Wright A., Wall R. (2008), Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements, *Energy and buildings* 40, Reino Unido, pp. 926 – 936.
20. Gabriel P. (2010), Los próximos 500 años, Editorial Red universitaria Argentina.
21. García-Landa C., Montero M. (2013), Propuesta de medición para toma de decisiones sobre el consumo de energía eléctrica, *Revista Latinoamericana de Psicología* Vol. 45 No. 3, México, pp. 373-380.
22. González Velasco J. (2009), *Energías Renovables*, Editorial Reverte España
23. Gutiérrez P., Gutiérrez C. (2009), *La actuación frente al cambio climático*, Editorial UM, España.
24. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2012). “Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares 2012”, INEGI, México.
25. Irastorza V. (2012), Eficiencia energética en el sector Doméstico: el caso del programa Luz sustentable, *Revista Digital Universitaria* Vol. 13 No. 10, México, pp. 2 – 5.
26. Jiménez C. B. E. (2002), *La contaminación ambiental en México*. Editorial Limusa. México
27. Jutglar, L. (2011), *Energía solar “Energías Alternativas y Medio Ambiente”* Editorial CEAC España
28. Kamilaris A., Kalluri B., Kondepudi S., Kwok T. Wai (2014), A literature survey on measuring energy usage for miscellaneous electric loads in offices and commercial buildings, *Renewable and sustainable energy reviews* 34, Singapur, pp. 536 – 550
29. Lawrence T., Watson R., Boudreau M., Johnsen K., Perry K., Ding L. (2012) A new paradigm for the design and management of building systems, *Energy and Buildings* Vol. 51, Estados Unidos, pp. 56-63.
30. Linares H. J. (2007), *Energía solar Estado actual y perspectivas inmediatas*, Editorial Asociación de Ingenieros ICAI España.
31. Martínez, J. (2009), *Taller de Cambio Climático para los Estados Fronterizos*. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Monterrey, México.
32. Meier A., Greenberg S. (1992), Emerging miscellaneous uses of electricity in homes, *Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. Pacific Grove (CA), Estados Unidos. pp. 4.141–3.
33. Méndez M. J. María, Cuervo G. R. (2007), *Energía Solar Fotovoltaica*. 3ra Edición. ECA Instituto de Tecnología y Formación S.A.U. España.
34. Mirosa M., Lawson R., Gnoth D. (2011), Linking Personal Values to Energy-Efficient Behaviors in the Home, *Environment and Behavior* 45 No.4, Nueva Zelanda, pp. 455-475
35. Mirosa M., Lawson R., Gnoth D. (2011), Linking Personal Values to Energy-Efficient Behaviors in the Home, *Environment and Behavior*, Vol. 45 No.4, Nueva Zelanda, pp. 455-475.



36. Mora L., Rivera H., Rodríguez R. (2011), Sistema para la reducción del consumo doméstico de energía eléctrica. Aplicación de la economía del comportamiento, CIMEEM2011 Vol.4 No.61, México, pp. 2 – 5.
37. Moro V. (2010), Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Ediciones Paraninfo S. A. España.
38. Organization for Economic Co-operation and Development (2011), “Saving electricity in a hurry”, International Energy Agency, Francia.
39. Perales B. (2008), Guía del instalador de energía renovable. Editorial Noriega Editores, México
40. Pilatowsky F., Martínez E. (2009), Sistemas de Calentamiento Solar de Agua. Editorial Trillas México. pp 33-34. México
41. Pinzón C., Corredor R., Santamaría P., Hernández M., Trujillo L. (2014). Implementación de indicadores energéticos en centros educativos. Caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete-Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Revista EAN 77, Colombia, pp. 186-201.
42. Roldan V. J. (2008), Fuentes de energía (Instalaciones eólicas, instalaciones solares térmicas) Editorial Cengage Learning Paraninfo S. A. España
43. Romero T. M. (2010), Energía Solar Fotovoltaica. 3ra. Edición. Ediciones CEAC. España.
44. Suástegui J., Pérez C., Campbell H., Magaña H., Prospectiva del Programa de Ahorro Sistemático Integral en Mexicali, Baja California, México”, Ingeniería mecánica: tecnología y desarrollo Vol.4 No.4, Mexico, 2013, pp. 129 – 134.
45. Ueno T., Sano F., Saeki O., Tsuji K. (2006), Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data, Appl Energy 83, Japón, pp.166–83.
46. Wijaya M., Tezuka T. (2013), Measures for improving the adoption of higher efficiency appliances in Indonesian households: An analysis of lifetime use and decision-making in the purchase of electrical appliances, Applied Energy 112, Japón, pp. 981-987.
47. Wijaya M., Tezuka T. (2013), Measures for improving the adoption of higher efficiency appliances in Indonesian households: An analysis of lifetime use and decision-making in the purchase of electrical appliances, Applied Energy Vol. 112, Japón, pp. 981-987.

# **CAPÍTULO 8**

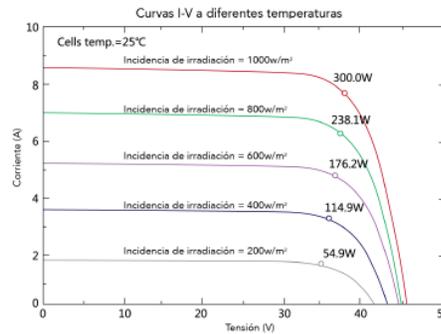
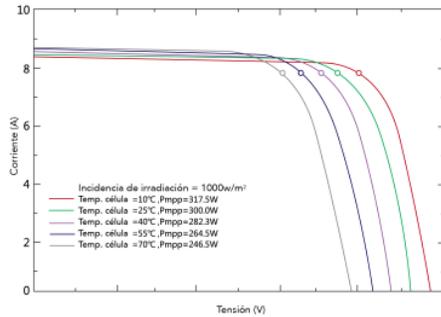
---

## **Anexos.**

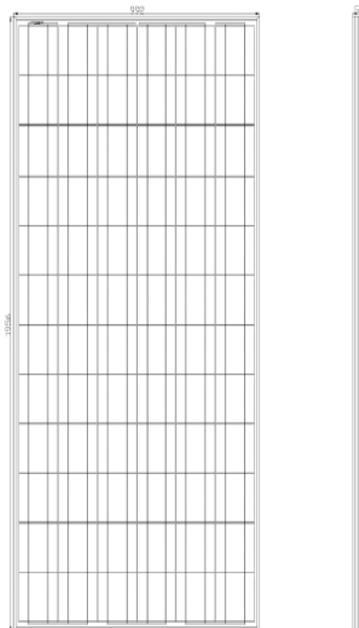
---



a. Ficha técnica del panel solar marca RED SOLAR Modelo RED260-60P.



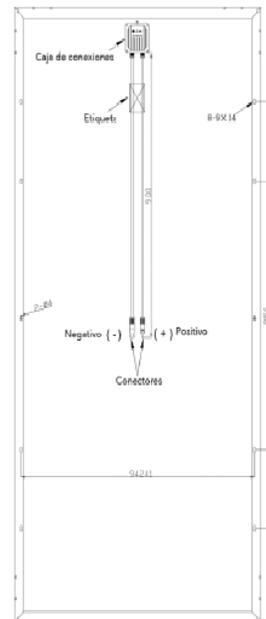
Curvas I-V a diferentes irradiancias



RED SOLAR® - Powering a bright future™ - info@redsolar.com - www.redsolar.com

Especificaciones	
Modelo	RED260-60P
Potencia máxima (P <sub>max</sub> )	260W
Tensión de potencia máx. (V <sub>mp</sub> )	30,43V
Tensión de corriente máx. (I <sub>mp</sub> )	8,54A
Tensión de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	37,12V
Corriente de cortocircuito (I <sub>sc</sub> )	9,65A
Eficiencia de célula (%)	18,34%
Máxima tensión del sistema (V)	DC 1000V
Coef. de temp I <sub>sc</sub> (%/°C)	0,045%/°C
Coef. de temp V <sub>oc</sub> (%/°C)	-0,34%/°C
Coef. de temp P <sub>max</sub> (%/°C)	-0,47%/°C
Temperatura nominal de funcionamiento de célula	45±2°C
Tolerancia	±3%
Tipo de célula (mm)	Policristalino (156mmx156mm)
Nº de células	60
Tipo de conectores	MC4
Peso (kg)	18
Dimensiones (mm)	1640x992x40

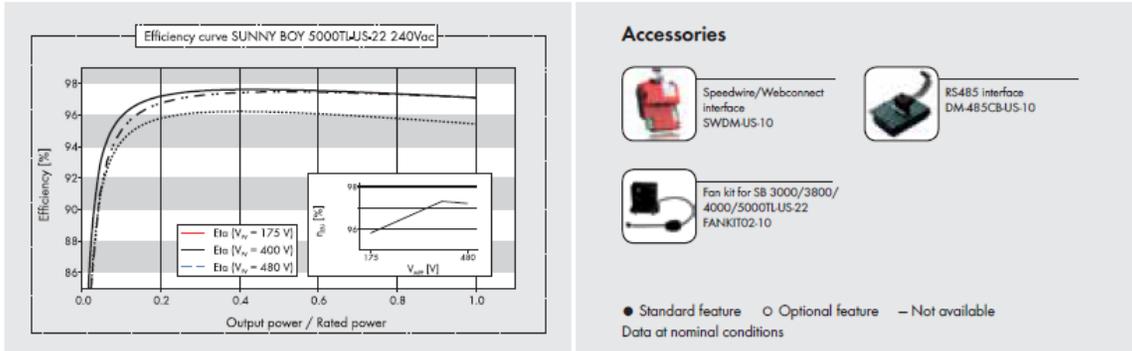
Ficha técnica testeada según STC, STC:AM 1.5,1000W/m2, 25°C.



Fuente: REDSOLAR



**b. Ficha técnica del inversor marca Intertek US Modelo 6000TL-US**



Sunny Boy 5000TL-US		Sunny Boy 6000TL-US		Sunny Boy 7000TL-US		Sunny Boy 7700TL-US	
208 V AC	240 V AC						
5300 W		6300 W		7300 W		8000 W	
600 V		600 V		600 V		600 V	
175 - 480 V		210 - 480 V		245 - 480 V		270 - 480 V	
125 - 500 V		125 - 500 V		125 - 500 V		125 - 500 V	
125 V / 150 V		125 V / 150 V		125 V / 150 V		125 V / 150 V	
30 A / 15 A		30 A / 15 A		30 A / 18 A		30 A / 18 A	
2 / 2							
4550 W	5000 W	5200 W	6000 W	6000 W	7000 W	6650 W	7680 W
4550 VA	5000 VA	5200 VA	6000 VA	6000 VA	7000 VA	6650 VA	7680 VA
208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●
183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V
60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz		60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz		60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz		60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz	
22 A		25 A		29.2 A		32 A	
1		1		1		1	
1 / 2		1 / 2		1 / 2		1 / 2	
< 4%		< 4%		< 4%		< 4%	
97.2%	97.6%	97.0%	97.4%	96.8%	96.8%	96.8%	97.3%
96.5%	97.0%	96.5%	97.0%	96.5%	96.5%	96.5%	96.5%

Fuente: Intertek US



c. **Tabla 10 Valores de resistencia eléctrica por km. De longitud.**

Resistencias para cable de cobre sin estañar cableado concéntrico,						
Calibre AWG kCM	Resistencia C. D			Resistencia C. A		
	25°C	75°C	90°C	25°C	75°C	90°C
20	34.6	41.3	43.3	34.6	41.3	43.3
18	21.8	26.0	27.3	21.8	26.0	27.3
16	13.7	16.3	17.1	13.7	16.3	17.1
14	8.60	10.3	10.76	8.60	10.3	10.76
12	5.42	6.47	6.77	5.42	6.47	6.77
10	3.40	4.06	4.26	3.40	4.06	4.26
8	2.14	2.55	2.68	2.14	2.55	2.68
6	1.34	1.60	1.68	1.34	1.60	1.68
4	0.84	1.01	1.06	0.84	1.01	1.06
2	0.533	0.636	0.666	0.534	0.637	0.667
1/0	0.335	0.400	0.419	0.335	0.401	0.420
2/0	0.256	0.316	0.332	0.265	0.317	0.333
3/0	0.211	0.252	0.264	0.212	0.253	0.265
4/0	0.167	0.199	0.209	0.170	0.202	0.212
250	0.141	0.168	0.177	0.144	0.171	0.179
300	0.118	0.141	0.147	0.122	0.144	0.150
350	0.101	0.121	0.126	0.105	0.124	0.130
400	0.0884	0.105	0.110	0.0933	0.110	0.115
500	0.0707	0.0844	0.088	0.0769	0.090	0.094
600	0.0589	0.0703	0.073	0.0660	0.076	0.080
750	0.0471	0.0562	0.058	0.0558	0.064	0.066
1000	0.0353	0.0421	0.044	0.0461	0.052	0.054

Fuente: Donal, 2008.



**d. Media mensual de radiación difusa incidente en la superficie horizontal para la locación de la USBI. (kWh/m<sup>2</sup>/día)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Valor anual
22 años	1.5	1.74	2.02	2.25	2.4	2.43	2.4	2.33	2.14	1.84	1.53	1.41	2
Mín.	1.36	1.48	1.83	2.07	2.2	2.35	2.28	2.26	2.07	1.73	1.36	1.33	1.86
Máx.	1.52	1.79	2.08	2.32	2.45	2.43	2.43	2.33	2.09	1.87	1.6	1.45	2.03
22 años	0.48	0.49	0.49	0.5	0.5	0.46	0.48	0.47	0.44	0.47	0.5	0.48	0.48
Min.	0.36	0.41	0.42	0.42	0.42	0.39	0.42	0.38	0.34	0.39	0.41	0.37	0.39
Máx.	0.56	0.6	0.57	0.58	0.58	0.52	0.55	0.52	0.51	0.54	0.58	0.54	0.55

**Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables.**

**e. Promedio Mensual del valor de radiación directo normal. (kWh/m<sup>2</sup>/día)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Anual
22 años de rango	3.91	4.12	4.3	4.45	4.36	3.78	4.09	3.88	3.41	3.93	4.29	4.02	4.05

**Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables**

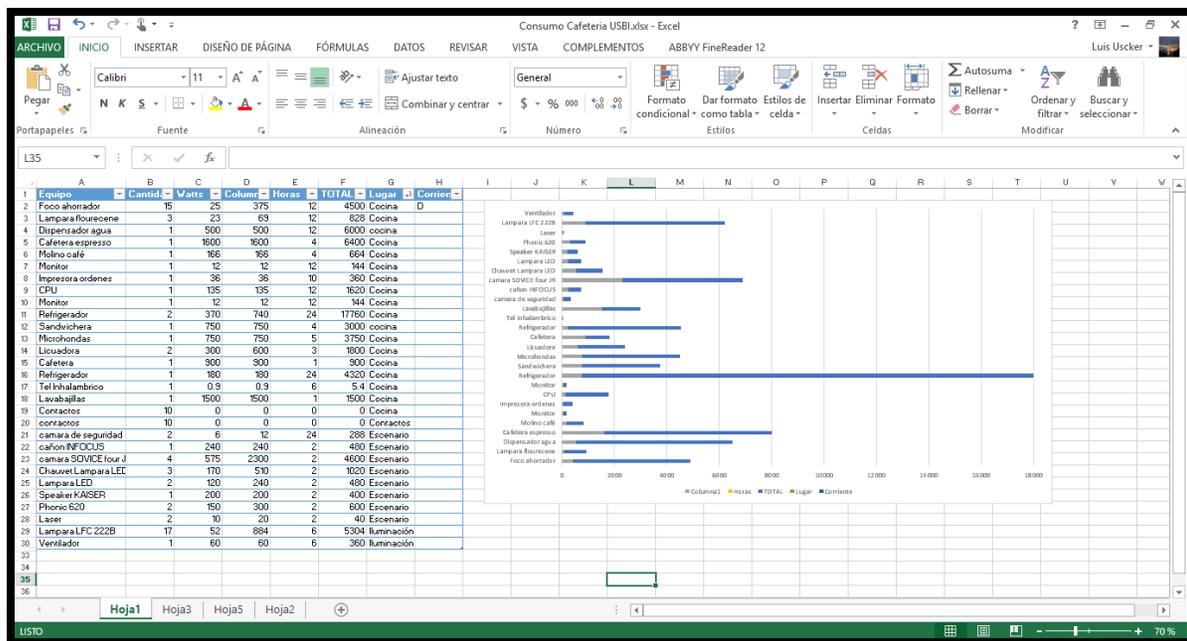


f. Irradiación global media para México, datos en kW-h/m2.

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Tuxpan	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.4	4.7	5.5	4.4	4.1	3.4	3.1	3.1	5.5	4.2
Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
Orizaba	3.3	3.5	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.1	3.1	4.9	4.0
<b>Jalapa</b>	<b>3.2</b>	<b>3.5</b>	<b>3.8</b>	<b>4.3</b>	<b>4.6</b>	<b>4.4</b>	<b>4.9</b>	<b>5.0</b>	<b>4.4</b>	<b>3.7</b>	<b>3.3</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>5.0</b>	<b>4.2</b>
Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
Mínima	3.1	3.3	3.1	3.8	4.1	4.4	4.5	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.5	3.7
Máximo	5.4	6.3	6.6	7.5	8.3	8.6	7.0	6.6	6.7	6.0	5.7	5.6	5.4	8.6	6.7
Promedio	4.1	4.7	5.3	5.7	5.9	5.6	5.6	5.5	5.1	4.7	4.3	3.8	3.8	5.9	5.0

Fuente: Domínguez, 2012.

g. Ilustración 5.12-1 Capturas de pantalla del archivo de Excel® donde se realizaron las operaciones mostradas en éste proyecto.



(a)





**Cálculo de los principales parámetros del sistema.**

Potencia instalada	PI	13,091.90		
Capacidad instalada del sistema	CIS	18,497.86		
Carga Máxima	Dm	6,215.00		
Carga Promedio	Dp	3,363.37		
$D_p = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo T en kW-h}}{\text{Tiempo en horas}}$				
Factor de carga	Fc	0.541169751	Factor de demanda	Fd
Demanda promedio = $D_p$			$F_d = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Carga instalada}} = \frac{D_m}{C_i}$	
Demanda máxima = $D_m$				
Factor de utilización	Fu	33.59849019	Factor de planta	Fip
$F_u = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Capacidad instalada}} = \frac{D_m}{CIS}$			$F_{ip} = \frac{\text{Energía real producida}}{\text{Potencia nominal máxima de la planta} \cdot t}$	

**Cálculo del rendimiento promedio del sistema**

Perdidas por distorsión	Ndp	0.955		
Perdidas por suciedad	Npolvo	0.97		
Perdidas por reflexión	Nreflactancia	0.97	Hora Solar Pico	1679.37
Perdidas por sombreado	Nsombas	0.9		
Hora Solar Pico	HSP	0.95	$HSP = \frac{0.001(19.5) \left[ \frac{1 \text{ kW-h}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot \text{abso} \right]}{1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$	
Rendimiento Inversor	Ninv	0.96		
Perdidas de cableado	Nac	0.98		
Rendimiento Promedio	RP	0.722786885		

(d)

Equipos	Marca	Modelo	Precio (dólares)	Precio (pesos)	Cantidad	Total (Pesos)
Módulos PV	CANADIAN SOLAR	CSP-260M	252.15	4,657.21	84.00	391,205.68
Inversores c	Fronius	IG 150V Plus	1,612.40	29,781.03	3.00	89,343.08
Acero galvanizado		Para 5 módulos	1502062	385.00	7,110.95	120,886.15
Otros				5,400.00	99,738.00	99,738.00
<b>TOTAL</b>						<b>5701,172.92</b>

Costo		
Potencia instalada	18,497,855.01	20.5
kW/h diarios	221,974,260.1	246.4
kw/h mes	6,659,227,802	7,391.7
kw/h año	79,910,733,62	88,700.9
Tiempo de recuperación	7.90	7 años y 10 meses
Monto recuperado por los años restantes de funcionamiento		1,575,328.2

(e)