



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ING. CIVIL – GESTIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CONSTRUCCIÓN

GUIA GERENCIAL PARA EL DISEÑO DE PROYECTOS DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA

ALUMNO:
ANAYA BERMÚDEZ JUAN MANUEL

TUTOR (ES) PRINCIPAL(ES)
ING. GUILLERMO CASAR MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Enero 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Meza Puesto Jesús Hugo
Secretario: M. en I. Narcia Morales Carlos
1^{er}. Vocal: Ing. Casar Marcos Guillermo
2^{do}. Vocal: M. I. Díaz Infante Chapa Luis Armando
3^{er}. Vocal: M. en A. Roldan Morales Laura Minerva

Av. Universidad 3000, Coyoacán, Cd Universitaria, Ciudad de México, CDMX.

TUTOR DE TESIS:

NOMBRE

FIRMA

DEDICATORIAS

A mi madre Marilú Bermúdez.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Salvador Anaya.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares.

A mis hermanos Betsabé, Salvador y Edgar por ser el ejemplo de unos hermanos mayores y de los cuales aprendí aciertos y de momentos difíciles.

¡Gracias a ustedes!

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Guillermo Casar Marcos que me ayudo en el desarrollo de esta tesis como tutor principal y por haberme brindado apoyo además de compartirme su conocimiento para continuar con mi investigación a nivel Maestría.

Al Dr. Jesús Meza Puesto, por ser un gran profesor y compartir de su conocimiento no solo a nivel maestría sino también en mi especialidad y con consejos personales que me ayudaron a superar las circunstancias difíciles. Además de haber aceptado el participar en mi examen de grado como presidente del jurado.

Al M. en I. Narcia Morales Carlos, quien me ayudo a darle una mejor forma y estructuración a mi tesis ya que su apoyo existe desde antes de haber aceptado ser parte del jurado de mi tesis, ayudándome a ver puntos que no están contemplados en mi trabajo de investigación y que ayudaron a fortalecer este trabajo de investigación.

Al M. I. Armando Díaz Infante, ya que su clase fue una de las más motivadoras para la elaboración de este trabajo de investigación y para mí como persona. Sus puntos de vista además de sus opiniones fueron puntos clave para esta investigación.

A la M. en A. Roldan Morales Laura Minerva, ya que ella me ayudo en los inicios de este trabajo para saber los alcances que se plantearon, los objetivos y la línea de investigación a seguir y así tener bien definido y planteado lo que sería este proyecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por abrirme las puertas así llevar al final el posgrado.

A los amigos que encontré en la Facultad de Ingeniería, los cuales me apoyaron en el estudio de esta maestría, en especial: los ingenieros Salvador Cantu, Diego Camacho, Ulises Mendoza e Ismael Ibáñez.

A todos mis amigos y familiares que me impulsaron a terminar esta etapa de mi vida.

RESUMEN

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. Hoy en día, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad. En este trabajo buscamos, proporcionar una guía, acompañada de una herramienta que ayude y facilite llevar a cabo nuestros proyectos de aprovechamiento de energías renovables por medio de sistemas de energía fotovoltaica. Todo esto con el fin de que se pueda obtener un asesoramiento gratuito, ya sea para realizar nuestro proyecto por completo. Con esta guía o como consulta de la misma se podrá tener un panorama más amplio y así evitar el tener que pagar por ante proyectos u obligarnos a consumir equipo y servicios de empresas que nos “ayudan” con nuestros proyectos siempre y cuando los ejecutemos contratándolos a ellos o comprando sus equipos a precios elevados.

Esta investigación se centrará en realizar una guía para proyectos de sistemas de energías fotovoltaicas que además nos pueda proporcionar una herramienta que facilite el cálculo de un sistema de energías fotovoltaicas, para que nos sea más sencilla la realización del cálculo de paneles solares, tamaño del inversor y el tamaño y tipo de batería. Aquí se mostrarán las bases del cálculo de sistemas fotovoltaicos y se plasmarán en una hoja de calculo para facilitar su utilización y que el usuario solo tenga que colocar pocos datos y de forma rápida pueda saber si su proyecto es viable, el costo y el periodo de retorno de su inversión. Sin embargo, se tendrá actualización de estas bases para poco a poco poder tener una herramienta más sofisticada y cada vez más exacta. Por lo tanto, este trabajo solo asentara las bases para que pueda seguir desarrollándose y tenga más líneas de investigación y actualización.

Para lograr este objetivo se investigará la radiación que emite el sol, y la cantidad de radiación solar que llega a la tierra en las distintas zonas y países del planeta. Así como la cantidad de luz que reciben en cada uno de los hogares de la república mexicana, para saber las emisiones de luz solar que pueden ser captadas y aprovechadas. También se necesitan datos como energía consumida, pagos realizados a la CFE (comisión federal de electricidad), y energía requerida, ya sea en un hogar o en un uso comercial y por último hacer un costo de proyecto total aproximado, sumando el costo del equipo necesario más la mano de obra y costos de transporte de estos. Teniendo estos datos podemos realizar el cálculo del proyecto y hacer una comparación con nuestro gasto mensual o bimestral y así determinar si es factible o no tener celdas solares, el número de estas, la colocación y ahorro que se tendrá, para que observemos la factibilidad de llevar a cabo un proyecto de captación de energía fotovoltaica. Con lo cual de una manera sencilla y de alcance para cualquier persona, podrá llevar a cabo su proyecto sin necesidad de tener conocimientos de ingeniería, electricidad, medio ambiente etc. Solo se necesitará saber el consumo de energía eléctrica que tiene en sus recibos de luz eléctrica y el pago promedio que realiza para el servicio de abastecimiento de luz eléctrica en su hogar o negocio, con ello podrá saber el ahorro económico que puede obtener al nuestra guía gerencial y nuestra hoja de cálculo. Realizaremos ejemplos y pruebas de distintos tipos de consumos para poner tener una conclusión a de la viabilidad y el comportamiento de ejecutar proyectos fotovoltaicos, así tener una certeza de lo que queremos y a lo que queremos llegar.

Índice

1. Planteamiento del problema.....	7
1.1. Objetivos	7
1.1.1. Objetivo principal.....	7
1.1.2. Metas	7
2. Justificación y alcance.....	8
2.1. Hipótesis.....	8
3. Estado del arte	9
3.1. Tecnología Solar	9
3.2. Energía proveniente del sol	10
4. Energía fotovoltaica.	13
4.1. Desarrollo de la energía solar	14
5. Captación de energía con paneles solares a nivel mundial.....	15
5.1. México en la captación de energía solar	20
5.2. La energía solar es la solución al cambio climático y bueno económicamente	22
6. Sistemas fotovoltaicos	26
6.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos:	29
6.1.1. Instalaciones aisladas con sistemas de baterías.	30
6.1.2. Sistemas híbridos.	30
6.1.3. Sistemas interconectados a la red	30
6.2. Elementos de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.....	32
6.2.1. Panel o módulo fotovoltaico.....	33
6.2.2. Baterías	35
6.2.3. El Regulador o Controlador de Carga.....	38
6.2.4. El Inversor	39
6.2.5. Estructura	40
6.3. Tipos de conexiones de los sistemas fotovoltaicos.....	41
6.3.1. Conexión de placas solares en paralelo:.....	42
6.3.2. Conexión de módulos fotovoltaicos en serie.....	43
6.3.3. Conexión mixta de placas solares.....	45
6.4. Espacio necesario para paneles solares	46
7. Costo de un sistema fotovoltaico.....	48

7.1. Costo de un panel solar	50
7.2. Financiamiento de un sistema fotovoltaico	52
7.3. Créditos	52
7.4. Alquiler de equipo fotovoltaico.....	52
8. Normas y certificaciones sobre sistemas fotovoltaicos.....	53
9. Diseño de un sistema fotovoltaico.....	56
9.1. Tipo de batería necesario	67
9.2. Selección del inversor.....	68
9.3. Medidor bidireccional.....	69
9.4. Resumen de nuestro ejemplo	70
9.5. Análisis costo beneficio	71
9.5.1. Conclusión:	72
10. Plataforma de cálculo de B/C en adquisición de paneles solares.	73
10.1. Ejemplo con mayor consumo eléctrico	75
11. Beneficios de utilizar sistemas fotovoltaicos.....	79
11.1. Aspectos ambientales	79
12. Conclusiones:.....	81
13. Bibliografía.....	85
14. Anexos.....	86

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Potencial Fotovoltaico Mundial.....	17
Ilustración 2 Escala del potencial fotovoltaico.....	18
Ilustración 3 Potencial Fotovoltaico Alemania.....	19
Ilustración 4 Potencial fotovoltaico España.....	19
Ilustración 5 Potencial fotovoltaico México.....	21
Ilustración 6 Sistema interconectado a la red eléctrica.....	32
Ilustración 7 Elementos de un sistema fotovoltaico.....	33
Ilustración 8 Componentes de la ceda fotovoltaica.....	34
Ilustración 9 Batería típica.....	36
Ilustración 10 Regulador.....	39
Ilustración 11 Inversor.....	40
Ilustración 12 Estructura.....	41
Ilustración 13 Panel solar.....	41
Ilustración 14 Paneles en paralelo.....	42
Ilustración 15 Paneles en serie.....	44
Ilustración 16 Conexión Mixta.....	45
Ilustración 17: Distribución de costos de componentes de un sistema individual doméstico.....	49
Ilustración 18 Distribución de costos de un sistema fotovoltaico.....	50
Ilustración 19 Tendencia de costo de un panel solar.....	52
Ilustración 20 Recibo de CFE.....	57
Ilustración 21 Recibo de CFE.....	59
Ilustración 22 Recibo CFE revés.....	60
Ilustración 23 PVSyst.....	61
Ilustración 24 PVSyst-datos.....	62
Ilustración 25 PVSyst mapa.....	63
Ilustración 26 PVSyst irradiación.....	64
Ilustración 27 Inversor ideal.....	71
Ilustración 28 Panel Solar.....	71
Ilustración 29 Batería ideal.....	71
Ilustración 30 Monto Pagado.....	72
Ilustración 31 Hoja de calculo.....	74
Ilustración 32 Resultados de nuestra hoja de calculo.....	75
Ilustración 33 Segundo ejemplo, recibo de luz CFE.....	76
Ilustración 34 Segundo ejemplo de nuestra hoja de calculo.....	77
Ilustración 35 Hoja de cálculo, resultado segundo ejemplo.....	78

Índice de Tablas

Tabla 1 Flujo solar vs consumo de energía	12
Tabla 2 Periodos.....	61
Tabla 3 Irradiación.....	64
Tabla 4 Tabla Factor de Energía	64
Tabla 5 Factor de Energía.....	66
Tabla 6 Resumen	70
Tabla 7 Resumen de costo	72

Tabla Simbólica

A	Amperio
CA	Corriente alterna
Ah	Amperio-hora
B/N	Blanco y negro
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CD	Corriente directa
G	Giga (10 ⁹)
GEF/FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
Gls	Galones
GTZ	Cooperación alemana para el desarrollo
Gw	Giga vatio (10 ⁹ vatios)
GWh	Giga vatios hora
HCS	Hidrocarburos
HR	Humedad relativa
Hz	Hertz
J	Joule (0,239 caloría ó 9,48 x 10 ⁻⁴ , unidades térmicas británicas, Btu)
J/s	Joules por segundo
K	Kilo (10 ³)
Km/s	Kilómetros por segundo
kW	(1000 vatios) -unidad de potencia kW/m ² Kilovatios por metro cuadrado
kWh	Kilovatio hora
kWh/m ²	Kilovatio hora por metro cuadrado
lts	Litros
M	Mega (10 ⁶)
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metros cúbicos
mm	Milímetros
m/s	Metros por segundo
MW	Mega vatios
°C	Grados Centígrados
ONG	Organización No Gubernamental
Psig	Libras de presión por pulgada cuadrada
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PV	Fotovoltaico (por sus siglas en inglés)
PVC	Cloruro de polivinilo
T	Tera (10 ¹²)
Tce	Toneladas de carbón equivalente
TM	Tonelada métrica
US\$	Dólares USA
UV	Ultravioleta

V	Voltios (el monto de “presión”de electricidad)
W	Vatios (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = vatios)
Wp	Vatios pico
W/m ₂	Vatios por metro cuadrado

1. Planteamiento del problema

Los gastos en el servicio de luz son cada vez mayores para los pobladores de la República Mexicana, y muchas personas tiene desconocimiento de la cantidad de dinero y contaminación que podrían ahorrar utilizando paneles solares y algunos otros a pesar de que tiene el conocimiento de estas, no quiere hacer el proyecto ya que puede traer complicaciones, “pérdida de tiempo” o presiones por llevar el proyecto a cabo. Este problema se puede solucionar con una buena proyección, difusión de información adecuada y una adecuada guía de para el diseño de sistemas de energía fotovoltaicas. Para lograr esto se necesita una investigación completa y difusión de la misma información para que pueda ser aprovechada por los ciudadanos de la República Mexicana, así logrando que su economía mejore y pueda reducir sus gastos en servicios.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo principal

Demostrar que se puede tener un gran aprovechamiento de la luz solar para tener un ahorro en los recibos de luz eléctrica en los hogares. Apoyándonos de la utilización de sistemas fotovoltaicos a partir de paneles solares con una buena planificación y ejecución de nuestros propios proyectos, sin necesidad de contratar empresas con precios excesivos y realizando la adquisición de nuestro equipo y materiales a un precio accesible para poder ejecutar nuestra proyección de sistemas de energías fotovoltaicas sin tener excedentes en precio.

1.1.2. Metas

1. Demostrar mediante cálculos e investigaciones que se puede hacer una inversión en un sistema de energía fotovoltaica a partir de paneles solares y este nos generará un ahorro al cabo de un tiempo determinado ya que nuestra inversión inicial será recuperada y a partir de este punto se tendrán ahorros económicos significativos.
2. Brindar unas herramientas de fácil utilización, ya sea un software o página de internet que hagan más fácil la elección y adquisición de nuestros equipos y materiales necesarios para nuestro sistema fotovoltaico para

reducir costos en nuestros pagos de servicios y fácilmente poder dirigir nuestros proyectos.

3. Poner al alcance de toda la población, esta herramienta de cálculo que sea de fácil manejo y pueda servir como una guía o como soporte principal para ejecutar nuestros proyectos de sistemas fotovoltaicos.

2. Justificación y alcance

Con la realización de este trabajo de investigación se podrá tomar la decisión de instalar sistemas de aprovechamiento de luz solar de una manera completamente segura y sin riesgos de realizar un mal gasto.

Tomando provecho de que en la actualidad contamos con muchas herramientas tecnológicas se puede disponer la información vía internet y en blogs que faciliten los cálculos necesarios para estos sistemas, para que esta información se encuentre al alcance de todos, de esta manera una persona con pocos conocimientos sobre estos sistemas fotovoltaicos, podrá tener la información muy importante ya que se mostrara de una forma sencilla y eficaz para que sea apta para cualquier público así la gente eliminara la incertidumbre de que no se podrá recuperar el gasto que realizo y que este será un mal gasto, por lo cual esta investigación eliminará esos paradigmas.

2.1. Hipótesis

En la República Mexicana se puede hacer una inversión inicial de un monto “fuerte” pero esta inversión se recuperará al cabo de unos años ya que la cantidad de energía fotovoltaica que se recibe en ciertos puntos de la República mexicana es suficiente para solventar el gasto de energía eléctrica utilizada en hogares de la república mexicana. Con esto se podría empezar a obtener una “ganancia” después de que pasan esos años de retorno de la inversión y logrando que los recibos de luz eléctrica de CFE, lleguen en 0 o en números negativos, en el mejor de los casos. Con esto lograremos aumentar los ingresos de las familias o negocios a nivel nacional. La población en general podrá ver estos beneficios más claramente con la información y herramientas adecuadas.

3. Estado del arte

3.1. Tecnología Solar

Según la información proporcionada por la IEA (International Energy Agency) o Agencia Internacional de Energía, las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según como capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas que son las que nos interesan, incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.

En 2011, la IEA (International Energy Agency) afirmó que “El desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independientemente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costes por la mitigación del cambio climático, y evitará el aumento excesivo de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costes para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas,¹ es por lo que nosotros debemos tomar una iniciativa para hacer el aprovechamiento de este recurso y no solo ayudarnos a nosotros sino al medio ambiente, tanto para la República mexicana como a nivel mundial.

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030.²

¹ Solar Energy Perspectives: Executive Summary (PDF). International Energy Agency. 2011.

² Teske, Sven (1 de septiembre de 2008). La energía solar puede dar electricidad limpia a más de 4.000 millones de personas para 2030 Greenpeace España.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras celdas solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las energías no renovables en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Otras tecnologías solares, como la energía solar termoeléctrica está reduciendo sus costes también de forma considerable.³

Es por todo esto que nosotros nos centraremos en las energías fotovoltaicas y sistemas de energía fotovoltaica, ya que los datos más recientes nos sugieren que es el una energía sustentable, renovable y su costo va mejorando año con año, por lo cual también puede ser un punto de inversión favorable para nosotros. Ya que tenemos claro este punto podemos tener la inquietud de saber la cantidad de energía que proviene del sol, y saber si esta es la suficiente o llega a nosotros la cantidad necesaria para ser aprovechada, por eso seguiremos, con la aclaración de este punto.

3.2. Energía proveniente del sol

Según la IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, la Tierra recibe 174 petavatios⁴ de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30 % regresa al espacio, mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben la restante. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre lo ocupa principalmente la luz visible y los rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1000 W/m² en la superficie

³ La fotovoltaica ya se codea en costes con la nuclear. El periódico de la energía. 1 de septiembre de 2014.

⁴ Un petavatio es una unidad de potencia equivalente a mil billones de vatios. Esta potencia puede producirse en los grandes láseres en escalas de tiempo del orden de femtosegundos (10⁻¹⁵ s). Basándose en la media de radiación solar de 1,366 kW/m² la potencia total de la radiación incidente en la atmósfera terrestre es estimada de 174 PW, potencia que se traduce directamente en energía eólica y de las corrientes marinas que también se sitúan en este orden.

terrestre. Esta potencia se denomina irradiación. Nótese que en términos globales prácticamente toda la radiación recibida es reemitida al espacio (de lo contrario se produciría un calentamiento abrupto). Sin embargo, existe una diferencia notable entre la radiación recibida y la emitida.

La radiación es aprovechable en sus componentes directos y difusos, o en la suma de ambos. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La bóveda celeste diurna emite la radiación difusa debido a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiación directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1366 W/m^2 (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m^2 y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m^2).

La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de estas. El aire calentado es el que contiene agua evaporada que asciende de los océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección. Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes. El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la superficie a $14 \text{ }^\circ\text{C}$.¹⁰ Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles.⁵

⁵ Natural Forcing of the Climate System. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Para darnos una idea del aprovechamiento de energía solar que se puede tener, a continuación tenemos una tabla en la cual e muestra la energía solar anual contra la energía eólica y el consumo de electricidad.

Flujo Solar Anual y Consumo de energía humano	
Solar	3 850 000 EJ
Energía eólica	2.250 EJ
Biomasa	3000 EJ
Uso energía primario (2005)	487 EJ
Electricidad (2005)	56,7 EJ

Tabla 1 Flujo solar vs consumo de energía

Como podemos observar en la tabla anterior, la energía proveniente del sol expresada en EJ (exajulius, $1.0E+18$) es mucho mayor que la energía utilizada por el ser humano.

Se estima que la energía total que absorben la atmósfera, los océanos y los continentes puede ser de 3 850 000 exajulios⁶ por año. En 2002, esta energía en una hora equivalía al consumo global mundial de energía durante un año. La fotosíntesis captura aproximadamente 3000 EJ por año en biomasa, lo que representa solo el 0,08 % de la energía recibida por la Tierra. La cantidad de energía solar recibida anual es tan vasta que equivale aproximadamente al doble de toda la energía producida jamás por otras fuentes de energía no renovable como son el petróleo, el carbón, el uranio y el gas natural. Esta información nos va acercando aún más a que nuestra hipótesis es correcta, ya que la producción solar rebasa enormemente al consumo de energía por lo que esta energía puede ser aprovechada aun de mejor manera.

⁶ Es la unidad derivada del Sistema Internacional utilizada para medir energía, trabajo y calor. Como unidad de trabajo, el julio se define como la cantidad de trabajo realizado por una fuerza constante de un newton durante un metro de longitud en la misma dirección de la fuerza.

4. Energía fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica según la IEA⁷ es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

Este tipo de energía se usa principalmente para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, aunque también permite alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos, así como abastecer refugios de montaña o viviendas aisladas de la red eléctrica. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años. Comenzaron a producirse en masa a partir del año 2000, cuando medioambientalistas alemanes y la organización Eurosolar obtuvo financiación para la creación de diez millones de tejados solares.

Programas de incentivos económicos, primero, y posteriormente sistemas de autoconsumo fotovoltaico y balance neto sin subsidios, han apoyado la instalación de la fotovoltaica en un gran número de países. Gracias a ello, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de las energías hidroeléctrica y eólica. A finales de 2018 la potencia total instalada en todo el mundo alcanzó los 500 GW de potencia fotovoltaica, y solo en 2018 se instalaron 100 GW.

La energía fotovoltaica no emite ningún tipo de polución durante su funcionamiento, contribuyendo a evitar la emisión de gases de efecto invernadero. Su principal desventaja consiste en que su producción depende de la radiación solar, por lo que si la célula no se encuentra alineada perpendicularmente al Sol se pierde entre un 10-25 % de la energía incidente. Debido a ello, en las plantas de conexión a red se ha popularizado el uso de seguidores solares para maximizar

⁷ Agencia Internacional de la Energía (IEA). 30 de abril de 2019.

la producción de energía. La producción se ve afectada asimismo por las condiciones meteorológicas adversas, como la falta de sol, nubes o la suciedad que se deposita sobre los paneles. Esto implica que para garantizar el suministro eléctrico es necesario complementar esta energía con otras fuentes de energía gestionables como las centrales basadas en la quema de combustibles fósiles, la energía hidroeléctrica o la energía nuclear.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y logrando que su coste medio de generación eléctrica sea ya competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Esto hace que nuestro proyecto sea factible ya que si se sigue esta tendencia no solo será competitivo contra otros medios de generación de energía sino será el único y/o principal productor de energía.

4.1. Desarrollo de la energía solar

Según el libro “Butti y Perlin, Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology” el desarrollo temprano de las tecnologías solares, comenzando en la década de 1860 estuvo motivado por la expectación de que el carbón pronto escasearía. Sin embargo, el desarrollo de la energía solar se estancó a comienzos del siglo XX debido a la cada vez mayor disponibilidad y economía de escala de fuentes no renovables como el carbón y el petróleo. En 1974, se estimaba que tan sólo seis casas privadas en toda Norteamérica eran alimentadas mediante sistemas solares. No obstante, la crisis del petróleo de 1973 y la crisis de 1979 provocaron un cambio importante de la política energética alrededor del mundo y puso de nuevo el foco de atención en las incipientes tecnologías solares. Se desarrollaron las primeras estrategias de desarrollo, centradas en programas de incentivos como el Federal Photovoltaic Utilization Program en Estados Unidos y el Sunshine Program en Japón. Otros esfuerzos fueron la creación de organizaciones de investigación en Estados Unidos (NREL), Japón (NEDO) y

Alemania (Fraunhofer–ISE). Entre 1970 y 1983, las instalaciones de sistemas fotovoltaicos crecieron rápidamente, pero la caída del precio del petróleo en la década de 1980 moderó el crecimiento de la energía solar entre 1984 y 1996.⁸

5. Captación de energía con paneles solares a nivel mundial

La revista “Muy Interesante” en un artículo reciente (Agosto 2019) nos dice que hace algunos años había quienes dudaban del impacto que la energía solar tendría para paliar la crisis energética mundial. Ciertamente el avance ha sido más lento de lo proyectado, pero por fortuna este ha sido continuo, y algunas ciudades del mundo ya se posicionan como pioneras en esta transición energética.

Australia, por ejemplo, va que vuela. Los proyectos de energías renovables tanto solares como eólicas que este país ha implementado en la última década, le han convertido en el líder mundial de este tipo de energías. Tan solo en 2018 sumó más de 3,775 MW a su capacidad solar; con ello hoy en día el 21% de su energía proviene de fuentes limpias. De seguir así, para tan cercano como 2025 hasta 50% de su electricidad podría ser renovable.

Buena parte de esta nueva capacidad es obtenida de energía solar a gran escala y parques eólicos (de los cuales en 2018 se completaron 28 proyectos) pero hay un tercer actor que cada vez está ganando más terreno y que constituye el secreto de este auge: los techos solares.

Según datos del Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA) cada minuto los australianos instalan en promedio seis paneles solares, tanto para uso residencial como comercial, y hasta finales de 2018 más de dos millones de hogares estaban decorados con ellos. Esta apropiación masiva de tecnología tiene su origen en los altos precios de electricidad en dicha nación, aunado a la caída de los costos de los paneles solares, lo que permitió que en principio fuera rentable para los usuarios, quienes en costo tiempo vieron su inversión de vuelta.

⁸ Butti y Perlin, Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology

Otra que trata de seguir el camino de los “tejados verdes” es la soleada California. A finales de 2018, el gobierno de este estado de la Unión Americana aprobó un mandato para que todas las casas y edificios de menos de tres pisos construidas a partir del 1 de enero de 2020 instalen paneles solares. En cuanto a las empresas de servicios públicos, el objetivo es que para ese mismo año 33% de su electricidad provenga de fuentes renovables. El propósito de esta iniciativa, la primera de su tipo en esa nación, es que para 2030 al menos 50% de la electricidad del estado provenga de fuentes renovables, intención que ha sido aplaudida en gran parte del mundo.

Esa meta ambiciosa, y está de más hablar de sus beneficios ambientales. Todavía en 2017 el porcentaje de energía solar del estado era de 16% y para aumentarlo a más del doble de medidas tajantes, como esta parecen tener cabida. Sin embargo, no todos están de acuerdo y dentro de los círculos sociales, políticos, económicos y académicos la cuestión ha despertado una reñida polémica.

Los métodos que otros gobiernos han probado para incrementar el uso de tecnologías verdes como los paneles fotovoltaicos se limitan a incentivos fiscales o impuestos, como aquel implementado en Columbia Británica sobre el carbono. Pero en lugar de cambiar a energías verdes pagan por contaminar; otra opción es seducir a los usuarios con la promesa de menores facturas eléctricas, como en Australia y Alemania.

El caso de Alemania es paradigmático. A pesar de ser un país con poca radiación solar, se posiciona entre los principales generadores de este tipo de energía, demostrando que en cualquier sitio del planeta hay gran potencial solar.

Sin embargo, existe un grupo de 66 naciones que han sido obsequiadas con una mayor cantidad de radiación en comparación con el resto: el llamado “cinturón solar”

Si bien las horas promedio de Sol en cada país de este grupo varían, la constante es que, en cualquiera de ellos invertir en tecnologías solares, sería un gran negocio y a la vez un respiro para el planeta. Simplemente, regiones como Medio

Oriente (que pertenece a esta franja solar) recibe casi el doble de radiación que toda Europa, por lo que a pesar de invertir en desarrollos fotovoltaicos en esta zona podría ser buena idea. Claro, de no ser por su agitada situación Política. En realidad, aunque la gran mayoría de los países del cinturón solar no están en una crisis tan aguda como la de Medio Oriente, pocos tienen las condiciones para explotar al máximo la capacidad energética solar. Por el contrario, estas 66 naciones que en conjunto albergan unos 5 mil millones de habitantes (75% de la población mundial), siguen acudiendo a fuentes de energía no renovables como el carbón o el petróleo para suplir sus necesidades energéticas.

El llamado es que al aprovechar apropiadamente su enorme potencial fotovoltaico no solo podrían construir de forma significativa a reducir las emisiones de carbono globales sino, como en el caso de Chile, mejorar su economía y eficiencia energética. En esencia: en ellos se tiene un gran poder para contribuir en la lucha contra el cambio climático y la descarbonización, pero no se está utilizando.

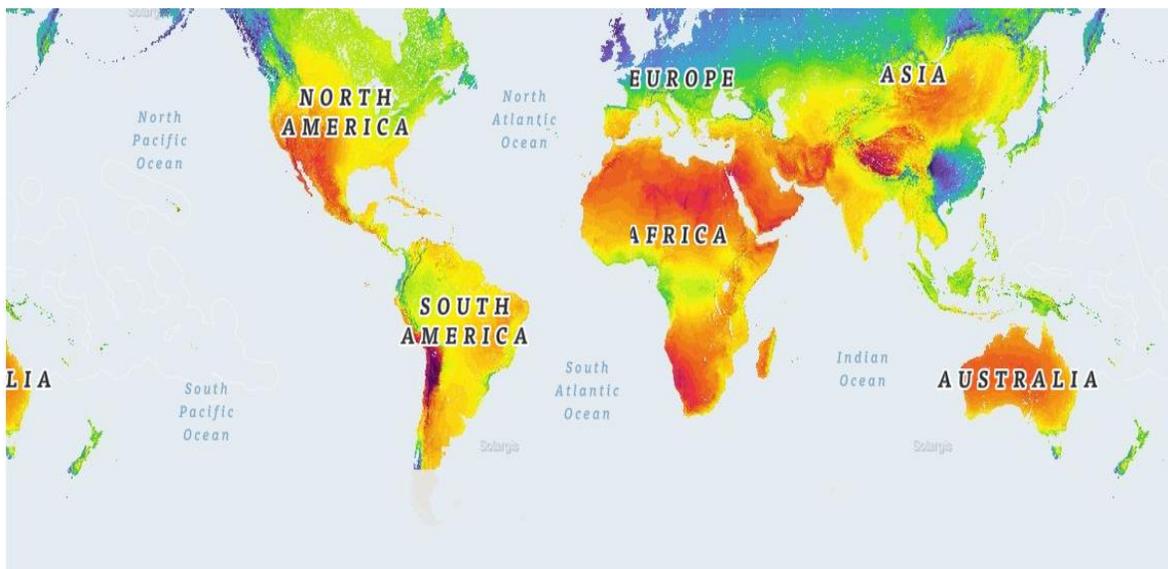


Ilustración 1 Potencial Fotovoltaico Mundial

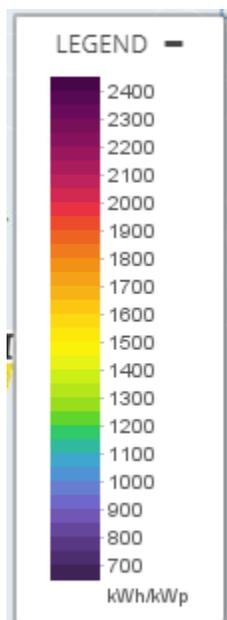


Ilustración 2 Escala del potencial fotovoltaico

Con esto podemos deducir que México está en una muy buena oportunidad para aprovechar la energía solar por su ubicación. A pesar de tener mejor ubicación que otros países esta no está siendo aprovechada como debería de serlo. A pesar de que Alemania no esta tan bien ubicado como México y no está entre los países más horas de sol a nivel mundial, se ha convertido en uno de los más importantes productores de energía solar. Hasta 2017 en su territorio albergaba 1.6 millones de paneles solares que generaban una capacidad instalada de 43 GW⁹ En las siguientes imágenes podemos ver el potencial fotovoltaico de Alemania y a continuación el de México, en el cual podemos ver que México tiene un aprovechamiento voltaico mucho mayor que el de Alemania.

⁹ Gigawatts (1,000,000,000 megawatts)

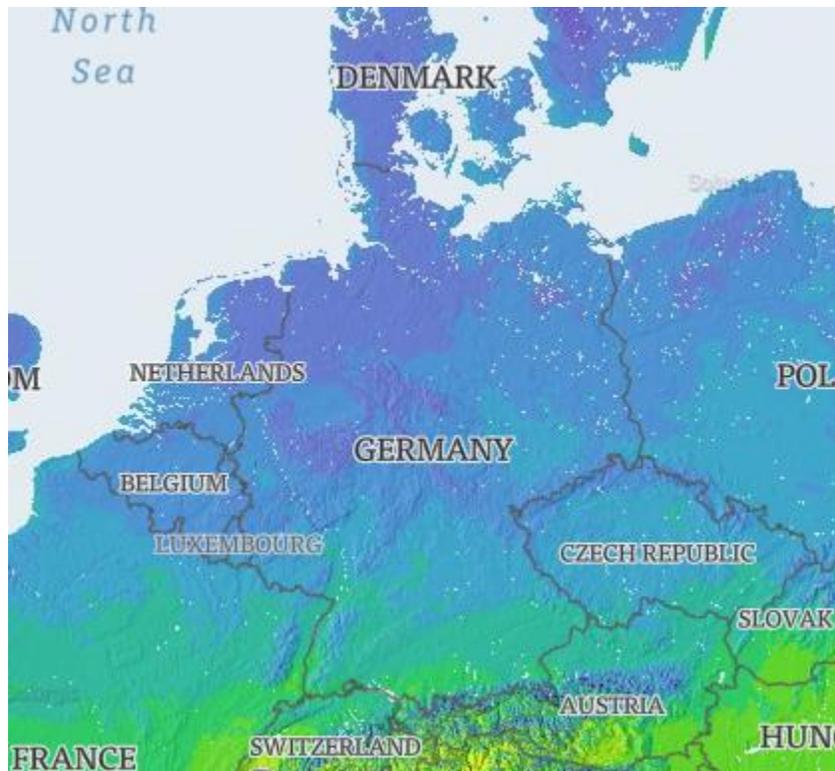


Ilustración 3 Potencial Fotovoltaico Alemania

Como dato curioso cabe mencionar que España es el líder internacional de energía termo solar. Tan solo durante el primer semestre de 2019 produjo alrededor de 2,801 GWh, equivalente a 2.38% del total de electricidad histórica, generado en el país europeo.



Ilustración 4 Potencial fotovoltaico España

5.1. México en la captación de energía solar

La capacidad energética del Sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, provoca que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país

Mundialmente el 75% de la población mundial sigue acudiendo a fuentes de energía no renovables como el carbono o el petróleo para suplir sus necesidades energéticas.

México en su gran mayoría forma parte de este grupo. Si bien existe ya una industria solar establecida, todavía estamos lejos de sacarle un verdadero partido a nuestro radiante sol.

Según Israel Hurtado, director de la Asociación Mexicana de Derecho Energético, hoy en día existen 115 empresas dedicadas a la energía solar en el país. El menciona que se trata de una industria joven, pero de rápido crecimiento. De apenas unas cuantas empresas dedicadas a este rubro en 2014, su número se ha multiplicado, a lo que conllevó también un salto en cuanto a generación de energía: de 70 MW en 2014 a 3,300 MW que se producen en la actualidad.

Se refiere a las compañías que gestionan tanto proyectos a gran escala como la Italiana Enel Green Power, que construyó el parque solar Villanueva en Viesca, Coahuila, la plata solar más grande de México (el proyecto cuenta con más de 2.5 millones de paneles solares capaces de producir más de 2,000 GWh por año, evitando la emisión de más de 1 millón de toneladas de CO₂ a la atmosfera), así como de productores independientes que han visto las oportunidades que ha abierto el nuevo mercado eléctrico nacional. Respecto a generación distribuida o paneles en techos, el escenario esta menos desarrollado. Si bien la primera instalación interconectada a la red de la comisión Federal de Electricidad data de 2007, hoy se han instalado cerca de 100,000 techos solares que producen alrededor de 600 MW de electricidad. Tal situación se repite en toda América

Latina, donde apenas un pequeño porcentaje de los hogares cuenta con paneles solares, para abastecer su suministro eléctrico.

Jorge Reyes, del museo de interactivo de economía en la ciudad de México, nos dice que se debe sobre todo al costo todavía prohibitivo de los paneles para una gran mayoría de la población. El otro tema son los altos subsidios a la energía eléctrica, que en México no motivan a la gente a buscar formas de reducir su consumo energético. Pero esto podría cambiar (para bien y para mal), pues aunado al esperado escenario de que se reduzcan los costos de esta tecnología, haciéndola más accesible, se espera que el gobierno mexicano elimine paulatinamente los subsidios a la electricidad en un mediano plazo. Como sea como pasa el tiempo y se acredita la crisis climática es más importante tomar en cuenta los beneficios ambientales que los costos económicos. Puede que parezca prohibitivo, peor hay que recordar que el planeta no es algo con lo que se puede jugar. Debemos ser responsables con él y con el apagón de carbón que viene.¹⁰

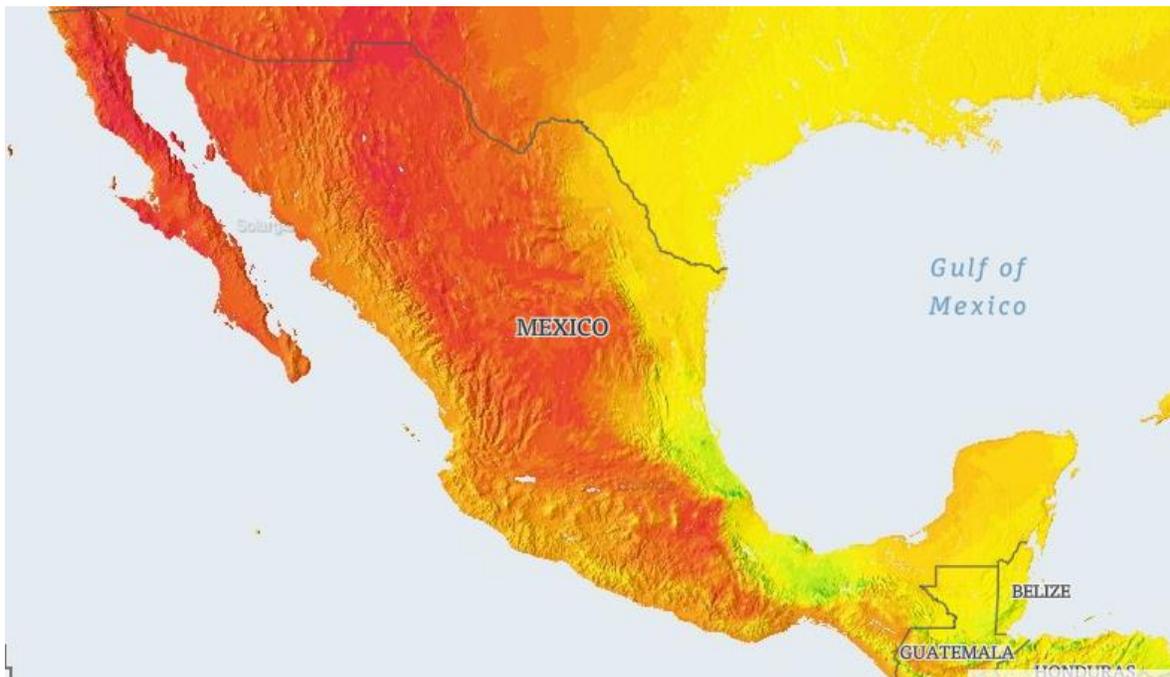


Ilustración 5 Potencial fotovoltaico México

Con estos nos puede quedar claro que, aunque nuestro país no tuviera un potencial fotovoltaico fuerte como el de Alemania, puede ser aprovechado de

¹⁰ Artículo “Muy interesante” agosto 2019

buena manera y más aún en nuestro país. Por lo cual debemos de estar casi un 100% convencido de que la energía fotovoltaica es el mejor aprovechamiento y una buena opción en nuestra actualidad.

5.2. La energía solar es la solución al cambio climático y bueno económicamente

Según lo publicado por la Intergubernamental Panel on Climate por sus siglas en inglés IPCC¹¹, nos habla sobre instrumentos de mitigación del cambio climático. En él se propone ampliar la generación de energía mediante sistemas solares actuales, y nos dicen que tenemos que dejar, ya, de emitir CO₂ a la atmósfera. Y esto es bueno para cada uno de nosotros.

La energía que estamos utilizando masivamente hoy día es, evidentemente, solar, pero solar fósil. Carbón, petróleo y gas derivan de biomasa del Carbonífero, un periodo de la historia de la Tierra de hace unos 330 millones de años. Una parte muy pequeña de la energía solar capturada entonces se concentró en el subsuelo de ciertos lugares de planeta, y ahora la estamos disipando.

La energía que llega del sol a la superficie de la Tierra en un día es por lo menos 2 veces la que utilizamos los seres humanos en 365 días, en un año. Por lo menos, sin entrar a que pueda ser bastante más. Aproximadamente entran 400 billones (millones de millones) de kwh. Que es la unidad en la cual nos cobran la energía eléctrica en nuestros recibos de energía eléctrica de CFE. Así cualquiera puede comparar: Una estufa de 1 kW, trabajando 1 hora seguida, consume 1 kwh, que nos cobran, impuestos incluidos, para darnos una idea de lo que nos cuesta la energía de nuestros aparatos electrodomesticos.

Esta energía está dispersa, y hay que capturarla y almacenarla para que nos sea útil. Los seres humanos, como todos los animales, así lo hemos hecho desde que aparecimos en el planeta, recojiéndola de plantas y animales y almacenándola sobre todo en forma de grasa en nuestros cuerpos. Con la evolución agrícola empezamos a capturar esa energía de manera sistemática, con los cereales

¹¹ Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

esencialmente, plantando sus semillas y recogiendo sus frutos, y almacenándolos en silos para tenerlas almacenadas y aprovechadas posteriormente. Desde hace unos 6000 años, por lo menos, y hasta hace unos 200 años (a partir de 1800 EC) toda la riqueza, todo el dinero de la Tierra era la energía solar capturada básicamente mediante los cereales en los campos del planeta y de la cual, el pequeño exceso sobre las necesidades alimenticias, se almacenaba y se asimilaba al dinero que servía para medir la energía disponible. Si un esclavo valía tantas monedas, no era más que porque podía desarrollar la energía necesaria para realizar su trabajo, de ahí podemos empezar a ver el valor que tiene la energía.

La parte de energía del sol que capturan las plantas es muy, muy pequeña. El trigo, por ejemplo, no captura más del 1% durante unos 90 días, digamos un 0.25% de la energía del sol durante un año. Y aun así fue de muy buen provecho y tuvo una utilidad absoluta, sin embargo esta puede ser aún mayor y mejor.

Hoy tenemos herramientas que capturan un 30% de la energía solar diaria, 365 días al año: Se llaman celdas fotovoltaicas: 120 veces más de lo que captura el mejor cereal, 10 veces más de lo que captura la caña de azúcar, que es otro muy buen recolector de energía solar. Tras las celdas fotovoltaicas tenemos la energía solar térmica que actúa con un rendimiento de alrededor de un 12%, pero que permite almacenar esa energía capturada sin problema, al menos durante las 12 horas de la noche, en forma de sales fundidas de nitrógeno que se guardan en el subsuelo.

Los molinos de viento, han capturado energía solar desde hace al menos 500 años. Hoy se llaman aerogeneradores, pero no dejan de ser molinos de viento. Su rendimiento solar es muy difícil de estimar, pues aprovechan la energía térmica del océano, calentado por el sol, y cuya alta temperatura relativa genera los vientos que los mueven. Su rendimiento energético (la energía que producen dividida por la energía del sol que utilizan) debe de ser al menos tan bajo o menor que el de las plantas, pero aprovechan el hecho de que esa energía solar calienta áreas

enormes de los océanos, y luego esa energía cedida al viento se concentra en puntos microscópicos (respecto a los océanos).

Puesto que hoy día la riqueza del dinero es la representante de la riqueza real de los combustibles. Como antiguamente ese dinero representaba la posesión de fincas cereales de alta productividad, podemos pensar que tenemos en nuestras manos las herramientas necesarias para aumentar radicalmente la riqueza energética de los seres humanos en el planeta. Según la definición tradicional de la Economía, la inmensa cantidad de energía que podemos capturar y almacenar debería llevarnos hacia situaciones de riqueza real para los siete u ocho mil millones de personas sobre la Tierra.

Hemos montado una cultura que se ha extendido a todos los rincones del planeta basada en disponer de energía mediante la quema de los combustibles fósiles. Esta quema tiene varios inconvenientes: Es finita en el tiempo, es contaminante con productos que se depositan en los pulmones, emite CO₂ mediante la regla de 3 kilos de CO₂ por kilo de gasolina o gasóleo quemado. Hace 100 años era de alto rendimiento medido por el índice EROI¹²: Energía Recuperada dividida por la Energía Invertida para su recuperación, pero hoy el petróleo sacado a 5000 metros de profundidad, o de las arenas asfálticas de Canadá o de Venezuela, o de la rotura de las pizarras subterráneas (fracking) tiene un índice de 3 frente a índices de 50 o 90 hace esos 100 años.

Se suele decir que uno de los problemas de la energía solar es que no se puede almacenar. Esto es radicalmente falso. En la ciudad de Phoenix, en Arizona, ya, hoy, medio millón de personas se calientan e iluminan por la noche, cuando no hay sol, con la energía capturada del sol durante el día. Esa energía capturada se invierte en calentar sales de nitrógeno y estas sales, a muy alta temperatura, se almacenan en el subsuelo. Luego de noche se las deja enfriar calentando agua que se emplea como calefacción o que mueve turbinas eléctricas.

¹² Tasa de Retorno Energético

Los paneles fotovoltaicos deberían ser obligatorios para cada vivienda. Su coste se amortiza en dos años, de manera que los bancos, mediante un programa de instalación gratis a cambio del ahorro en el recibo de la luz durante unos años más de esos dos, podrían llenar los hogares de paneles y baterías que disminuirían radicalmente la factura eléctrica de las familias y ahorrarían millones de toneladas de CO2 emitidas a la atmósfera. Exactamente de la misma manera, mediante un programa de préstamos a cambio del ahorro de la factura de la luz los bancos podían poner paneles de agua caliente solar en todas las viviendas, con el mismo ahorro que las celdas fotovoltaicas.

Existen también toda clase de tecnologías biológicas que producen energía adicional a la alimentaria. Los micros algas son un ejemplo.

Nos queda para ahorrar en emisiones de CO2 el consumo de combustibles en los coches y camiones. Aquí de nuevo se puede hacer muchísimo. Las ciudades pueden proporcionar triciclos eléctricos, estos pueden llevar carga y no vuelcan, pesando aproximadamente lo mismo que las bicicletas de más difícil manejo para el desplazamiento de todos sus ciudadanos.

Esto de los bancos financiando un cambio de uso energético es, como la calefacción en Phoenix, algo que se lleva haciendo en España por uno de sus bancos desde hace años: No es nuevo, y es rentable. Si un banco lo puede hacer, también nosotros.

Para los viajes largos, sabiendo que al final del viaje las ciudades van a tener a disposición de viajero estos triciclos, que pueden incluso ser cubiertos si en la ciudad llueve mucho, pueden usarse de forma masiva los trenes que funcionan con electricidad que debe ser de origen solar.

Según todos los estudios, necesitamos eliminar la combustión de carbono, carbón, gas natural y petróleo como herramienta energética. Y hacerlo es posible, económicamente, hay bancos que ya lo están haciendo y ganan dinero al hacerlo, y técnicamente, la tecnología para ello no es del futuro: Está toda en los anaqueles de los comercios de hoy. Y las ventajas para los ciudadanos, inmensas:

Aumento en la salud al eliminar la contaminación, reducción de sus facturas energéticas, aumento de la calidad de vida al eliminar, por ejemplo, los viajes de 600 kilómetros al volante del coche, y los atascos diarios en las ciudades.

Evidentemente la forma de vida será otra.

Antiguamente se aceptaron nuevas tecnologías: Montaron trenes, se subieron a los aviones, pusieron electricidad en sus casas, y todo lo demás que tenemos. Aquello era caro. Los pseudo analistas decían: "No se puede hacer: Cuesta mucho. La luz eléctrica no es competitiva con los candiles de aceite".

Hoy hay analistas, gente que sabe una barbaridad que nos dice que hoy no podemos substituir el petróleo por energía solar actual, no fósil. "No se puede hacer. La energía solar no es competitiva con la del petróleo". La historia se repite.

Y como se repite, si entonces fuimos capaces de cambiar a un mundo mucho mejor, hoy podemos hacer exactamente lo mismo. A pesar de los sesudos analistas. Y de las prohibiciones a la energía del futuro que es de ahora.

Necesitamos frenar el cambio climático, podemos hacerlo y es bueno para cada uno de nosotros.¹³

6. Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son plantas generadoras de electricidad que sirven para generar energía eléctrica por medio de la radiación proveniente del sol. Están compuestos de varios elementos dependiendo del tipo de sistema, sin embargo, todos los sistemas fotovoltaicos tienen en común que requieren de módulos fotovoltaicos para convertir la radiación del sol en energía eléctrica (comúnmente conocidos como paneles solares).

¹³ Cimate change 2014: mitigation of climate change

De acuerdo a un artículo publicado en “Información y negocios segundo a segundo” un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

También puede ser definido como la agrupación y trabajo en conjunto de ciertos componentes eléctricos para lograr la transformación de la energía solar en energía eléctrica utilizable para cualquier aparato o dispositivo eléctrico convencional de una casa, un negocio o inclusive una industria.

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias.

La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

Los dispositivos a través de los cuales se absorbe la energía solar son las celdas solares. Estos son elementos de los sistemas fotovoltaicos que tienen la capacidad de producir energía eléctrica al aprovechar la luz solar que incide en ellos. Las celdas solares se fabrican con materiales semiconductores, tales como el silicio, que tienen la función de recibir los fotones que viajan a través de los rayos solares.

Una vez que los fotones que emite la radiación solar entran en contacto con los átomos presentes en las celdas solares, se liberan electrones que comienzan a circular a través del material semiconductor con el que se fabrican las celdas y se produce energía eléctrica.

Un sistema fotovoltaico puede ser interconectado que es lo más conveniente para residencias o negocios con acceso a la red eléctrica de la CFE (Comisión Federal de Electricidad).

Con este sistema la energía generada se inyecta a la red eléctrica y de allí se toma cuando uno la necesita. La otra opción es un sistema aislado que permite el suministro de energía eléctrica en lugares inaccesibles para la red eléctrica. Estos sistemas son usados principalmente en casas de campo o en antenas de telecomunicación, pero contamos con tipos de sistemas fotovoltaicos.

En principio si tenemos un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone de un Diodo en su interior, por lo cual, el panel solar funciona a la misma tensión que las baterías solares.

Esto hace que el módulo solar no trabaje en su punto de máxima potencia, sino que trabaja en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia. Es decir, la tensión de salida del panel queda limitada por la tensión de la batería.

Si vamos a utilizar un regulador de carga PWM, este es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación y fase de absorción (llenado total). Esto se produce porque la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable.

Entonces, si tenemos un panel de 150W, de 18.4V de tensión máxima y el regulador la carga de absorción como máximo a la batería es de 14.2V, lo que se produce es que el módulo no trabaja en su máxima potencia significando una pequeña pérdida de energía.

Ahora pongamos el caso de que vamos a comprar un regulador solar MPPT (Maximum Power Point Tracking), en este caso la energía que entra y sale del regulador es la misma, al igual que en los reguladores PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con ello se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar respecto a los reguladores PWM.

En este caso el regulador es capaz de trabajar siempre en el punto de máxima potencia del panel sin tener ningún tipo de pérdida.

Es el elemento principal de la generación fotovoltaica, constituido por la célula solar, es el responsable de la generación energética en corriente continua a través de la irradiación del Sol. En el mercado nos encontramos con distintos productores de módulos; Desde la fábrica de Atersa (España) hasta la mayoría de los fabricantes chinos; Hanwa, Canadian Solar, Jinko, Yingly, BYD... Actualmente el módulo europeo no es capaz de competir con el módulo chino y es por ello que se establecen aranceles antidumping sobre las importaciones chinas. Actualmente la potencia de los módulos poli cristalinos suele ser de unos 320- 325Wp/módulo en condiciones STC, mientras que los mono cristalinos alcanzan potencias de 340Wp/módulo. La tendencia actual es a ir al módulo más económico, y éste es el poli cristalino, con un rendimiento aceptable en torno al 17% aunque es posible que la tendencia cambie por el mono cristalino o los módulos de capa fina pues están reduciendo severamente su coste de producción. En un proyecto fotovoltaico, los módulos suponen alrededor de un 20-30% de la inversión total. - Inversor: Es el elemento encargado de transformar la corriente continua proveniente de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para su vertido a la red. Se construyen a interruptores de estado sólido que oscilan de acuerdo a un determinado algoritmo. En la actualidad existen distintas topologías de inversor entre las que se encuentran los inversores centrales, inversores de tipo string o micro inversores. En el día de hoy podemos encontrar tanto inversores tipo string como centrales en grandes huertos fotovoltaicos, algo inusual en los últimos años, donde la tendencia favorecía a los centrales. Los inversores de tipo string permiten más puntos de seguimientos de potencia lo que facilita la estratificación energética y mayor eficiencia. La justificación de su uso en cubiertas o estructuras con distintas inclinaciones se vale por sí misma. Sin embargo, los inversores centrales muchas veces son más interesantes para grandes plantas fotovoltaicas pues contaremos con un menor número de unidades, el cableado estará más centralizado y el coste de los equipos, generalmente será menor.

6.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos:

Como ya habíamos mencionado los sistemas fotovoltaicos son plantas generadoras de electricidad que sirven para generar energía eléctrica por medio

de la radiación proveniente del sol. Están compuestos de varios elementos dependiendo del tipo de sistema, sin embargo, todos los sistemas fotovoltaicos tienen en común que requieren de módulos fotovoltaicos para convertir la radiación del sol en energía eléctrica (comúnmente conocidos como paneles solares). Básicamente son tres sistemas fotovoltaicos:

6.1.1. Instalaciones aisladas con sistemas de baterías.

Son una buena opción cuando CFE no provee servicio en la zona, sin embargo, al tener más partes que los sistemas interconectados, éstos requieren mayor inversión y mantenimiento que los anteriores. Estos sistemas cuentan con paneles solares, inversores que trabajan aislados (desconectados de CFE), utilizando baterías para almacenar la energía, controladores de carga y sistemas de montaje.

El sistema se compone de uno o varios bancos de baterías para almacenar los excedentes de la energía o utilizar en períodos de baja o nula radiación

6.1.2. Sistemas híbridos.

Pueden funcionar tanto interconectados a CFE como en modo aislado.

La instalación fotovoltaica no está conectada a la red eléctrica y tiene como objetivo satisfacer total o parcialmente los consumos eléctricos de un determinado edificio o punto de consumo (aplicaciones espaciales, telecomunicación, electrificación de zonas rurales y aisladas, señalización, alumbrado público, bombeos...)

6.1.3. Sistemas interconectados a la red

Estos sistemas son los más económicos, no obstante, forzosamente deben estar conectados a la red eléctrica nacional (CFE). Estos sistemas requieren muy bajo mantenimiento. En la mayoría de los casos, el mantenimiento requerido se limita a la limpieza de los paneles solares para eliminar la suciedad y el polvo.

En este caso el sistema en algunas ocasiones carece de baterías, pero mantiene la finalidad del autoconsumo. Estos sistemas suelen utilizar dos contadores; un contador para la energía generada y otro para energía consumida. Cuando el

sistema fotovoltaico produce excedentes, éstos se vierten a la red y producen un beneficio económico. Por otro lado, cuando la energía demandada por el sistema es inferior a la generada por la instalación fotovoltaica, éste consume la energía restante de la red.

A raíz de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía en noviembre de 2008, la CFE permite la interconexión de sistemas de energía renovable al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Para hacer uso de las ventajas que ofrecen estos sistemas, la CFE a través de un contrato de cogeneración para fuentes renovables de energía, permite la instalación de fuentes de energía renovable tanto en pequeña escala (potencia máxima instalada ≤ 30 kW) como en mediana escala (potencia máxima instalada > 30 kW) para aplicaciones de autoabastecimiento de energía eléctrica en las instalaciones particulares de los usuarios.

Los sistemas interconectados a la red requieren necesariamente interconexión con la red eléctrica nacional para operar; una ventaja de estos sistemas es no requerir el uso de baterías (o acumuladores) para funcionar, lo cual los vuelve la alternativa más económica y con los requerimientos de mantenimiento más bajos de todos los sistemas. Estos sistemas únicamente operan cuando la irradiación solar incide sobre los paneles fotovoltaicos con suficiente intensidad para que estos generen la energía eléctrica necesaria para arrancar el sistema.

Es importante señalar que estos sistemas, por su diseño y características, no operan como fuentes de respaldo de energía, por lo cual no pueden abastecer sus cargas cuando falla el suministro eléctrico en la red. Durante los periodos nocturnos y de baja recepción de irradiación solar (un día muy nublado, por ejemplo), la energía eléctrica es suministrada por CFE, lo cual garantiza el abastecimiento continuo de energía eléctrica. Estos sistemas tienen una vida útil de por lo menos 25 años.

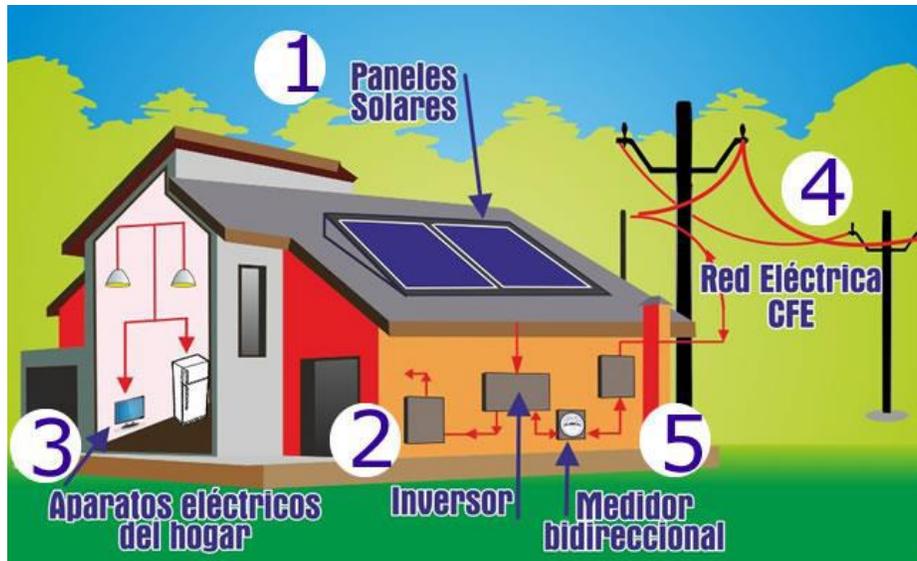


Ilustración 6 Sistema interconectado a la red eléctrica

Los sistemas de energía solar interconectados a la red eléctrica (Imagen 6) son la mejor alternativa cuando se cuenta con el servicio de energía eléctrica de CFE como sucede en la mayoría de las ciudades de nuestro país.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico interconectado a la red son:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor para la conexión a red.
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica.
- Contador de energía bidireccional.

6.2. Elementos de un sistema fotovoltaico interconectado a la red

La instalación fotovoltaica, a día de hoy, está bastante estandarizada y realización de los proyectos fotovoltaicos, bien de autoconsumo o bien conectados a red, no suelen tener una complejidad elevada. La mayor complejidad suele residir en adaptar la configuración a los requerimientos del terreno y la red eléctrica de la zona. Los elementos que constituyen la instalación fotovoltaica conectada a red son los siguientes:

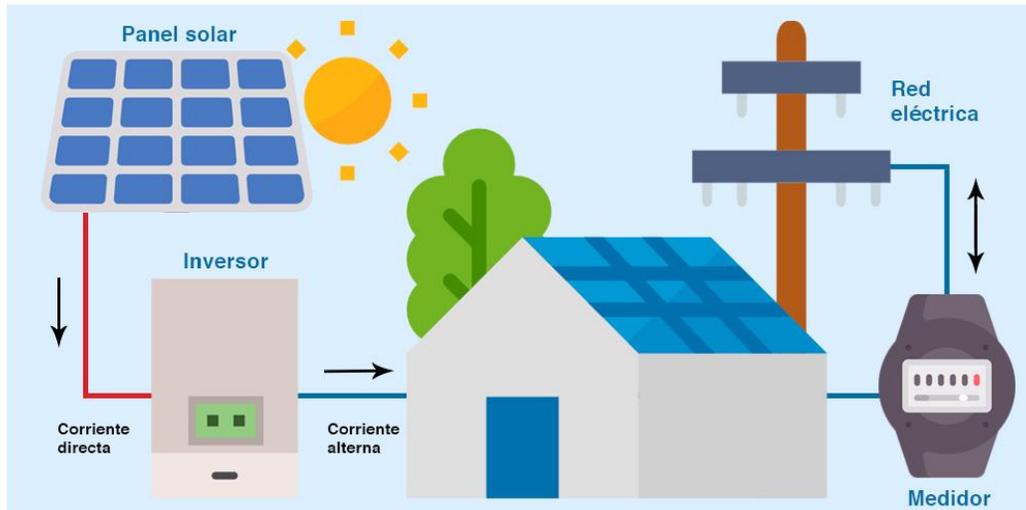


Ilustración 7 Elementos de un sistema fotovoltaico

6.2.1. Panel o módulo fotovoltaico

Las celdas fotovoltaicas o módulos fotovoltaicos son elementos que producen electricidad al incidir la luz sobre su superficie; la fuente de luz utilizada generalmente es el sol. Estas celdas también son conocidas como baterías solares, fopilas o generadores helio voltaico. Dado que cada elemento puede generar una cantidad reducida de electricidad, en sus orígenes se destinaron a alimentar consumos pequeños con requerimientos particulares, como los de la exploración espacial.

Los módulos fotovoltaicos para un sistema de conexión a la red están disponibles en capacidades de 100 Wp a 300 Wp nominales. Esta potencia corresponde a condiciones normalizadas con radiación solar de 1,000 W/m², temperatura de módulo de 25°C y sin viento.

Las tensiones nominales de módulos y arreglos en sistemas autónomos pueden ser de 12, 24 y 48 V, convenientes para acoplarse a bancos de baterías, sin embargo, en sistemas conectados con la red se configuran tensiones más elevadas, típicamente de 90 a 600 V. Determinada la energía consumida, ésta tiene que ser suministrada por una fuente y es representada por un panel de

módulos fotovoltaicos conectados entre sí, de tal forma que son capaces de suministrar la energía necesaria para alimentar la carga eléctrica.¹⁴

Las partes más importantes de la celda solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra, en la figura 7 se ilustran los componentes de una celda fotovoltaica. Cuando la luz solar incide en la celda, se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico formando así una corriente eléctrica. Es por ello que estas celdas se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía. Desafortunadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de celdas y aplicaciones.

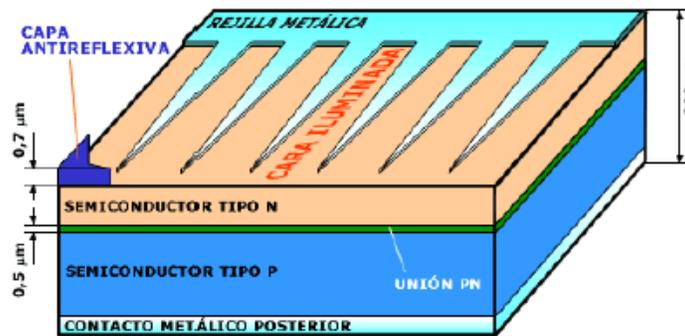


Ilustración 8 Componentes de la celda fotovoltaica

Además de los semiconductores, las celdas solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contacto para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa, y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la celda hay un vidrio u otro tipo de material encapsulaste transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

¹⁴ Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira

6.2.2. Baterías

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería. Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar tanto lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que pueden producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico

6.2.2.1. Características de las baterías

La Figura 9 muestra una batería típica para aplicaciones fotovoltaicas. En su apariencia externa este tipo de baterías no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones

fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.



Ilustración 9 Batería típica

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:

- a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente,
- b) los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Así, el ahorro en costos que puede tener comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.

La capacidad de la batería se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de

descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados (en el caso de algunos proveedores con la venta de la batería se responsabilizan también del retiro y reciclaje). Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene a una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas, muchas de estas están mencionadas en las normas y certificaciones mencionadas más adelante.

6.2.2.2. Mantenimiento y vida útil:

Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas 'baterías libres de mantenimiento', no lo necesitan.

Generalmente, la vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida. La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas son elementos bastante sensibles a la forma como se realizan los procesos de carga y descarga. Si se carga una batería más de lo necesario, o si se descarga más de lo debido, ésta se daña. Normalmente, procesos excesivos de carga o descarga tienen como consecuencia que la vida útil de la batería se acorte considerablemente.

Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería puede representar hasta un 15-30 % del costo total, es necesario disponer de un elemento adicional que proteja la batería de procesos inadecuados de carga y descarga, conocido como regulador o controlador de carga.

6.2.3. El Regulador o Controlador de Carga

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.



Ilustración 10 Regulador

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de esta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente.

6.2.4. El Inversor

Proveer adecuadamente energía eléctrica no sólo significa hacerlo en forma eficiente y segura para la instalación y las personas; sino que, también significa proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita.

El tipo de la energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía. Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios y televisores funcionan a 12 voltios (V) de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 V.

Por otra parte, hay lámparas, radios y televisores que necesitan 120 V ó 110 V de corriente alterna para funcionar. Estos aparatos eléctricos se pueden adquirir en cualquier comercio pues 120 ó 110 son los voltajes con el que operan el 95% de los electrodomésticos en América Central, en los sistemas conectados a la red pública convencional. El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo es equivalente a 120 V.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.

Existe una amplia variedad de inversores para aplicaciones domésticas y usos productivos en sitios aislados, tanto en calidad como en capacidad. Con ellos, se pueden utilizar lámparas, radios, televisores pequeños, teléfonos celulares, computadoras portátiles, y otros.



Ilustración 11 Inversor

6.2.5. Estructura

Es el elemento en el que se asienta el elemento principal de una obra fotovoltaica. Y es, por tanto, muy importante, que se asiente sobre buenos cimientos. Muchas veces la cimentación de la estructura condiciona la viabilidad de la obra, pues el

coste de arreglar un terreno con pizarras o arenas expansivas puede desbordar el coste del proyecto. Existen distintos de estructura, pero aquí solamente mencionaremos la estructura fija y con seguidor a un eje. Las más utilizadas en las plantas fotovoltaicas conectadas a red. La primera consiste en una estructura metálica con un ángulo de inclinación fijo diseñado para la irradiación de todo el año mientras que la segunda se vale de un motor eléctrico para hacer un seguimiento solar Este- Oeste. La estructura con seguidor suele tener una ganancia del 30% en la producción respecto a la estructura fija.



Ilustración 12 Estructura

6.3. Tipos de conexiones de los sistemas fotovoltaicos

En la mayoría de proyectos fotovoltaicos, sobre todo de las instalaciones solares aisladas y dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varias placas en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente deseados.

El símbolo eléctrico que se suele utilizar para representar gráficamente un panel fotovoltaico es el siguiente:

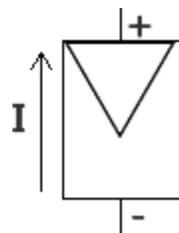


Ilustración 13 Panel solar

En la mayoría de proyectos fotovoltaicos, sobre todo de las instalaciones solares aisladas y dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varias placas en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión y corriente deseados.

Para la conexión de placas solares fotovoltaicas, hay tres opciones posibles:

6.3.1. Conexión de placas solares en paralelo:

Se conectan todos los módulos por sus polos positivos y, por separado, por todos los polos negativos. Con esto, lo que conseguimos es aumentar la corriente generada en la rama (suma de las corrientes de cada panel) pero se mantiene la misma tensión que la de uno de los paneles que componen la rama.

En otras palabras, si conectamos los paneles en paralelo, a la salida de la rama tendremos la suma de las corrientes de cada subrama y la tensión de salida de cada subrama. Se podrá apreciar con el siguiente ejemplo.

Consideremos que tenemos una instalación fotovoltaica aislada compuesta por 3 ramas en paralelo con una placa solar de 12V, de tensión nominal máxima 18.4V y corriente máxima de 8.37A. Si no hubiera pérdidas de ningún tipo (caso hipotético), el esquema de conexión de placas solares en paralelo se podría representar así:

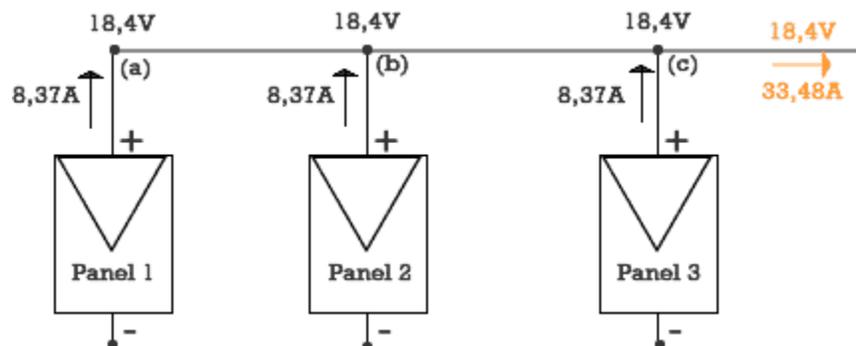


Ilustración 14 Paneles en paralelo

Como podemos ver en el esquema, en color naranja tenemos los valores de salida del sistema de generación fotovoltaico (los llamados paneles solares de 12V por ser usados para sistemas aislados con baterías), donde la tensión de salida que tendremos sería 18.4V (pues los paneles están conectados en paralelo) y la corriente 25.11A (pues al estar en paralelo se suma la corriente de cada rama a, b y c).

6.3.2. Conexión de módulos fotovoltaicos en serie

Para este tipo de configuración se conecta el polo positivo de un módulo, con el polo negativo del siguiente, así sucesivamente con cuantos paneles sean necesarios. Con esto se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada.

La tensión generada será igual a la suma de cada una de las tensiones de cada panel que compone la rama (string) o, dicho de otro modo, multiplicamos la tensión unitaria por el número de paneles de la rama, pues siempre debemos conectar paneles de las mismas características unos con otros. Lo vemos entonces con un ejemplo:

Consideremos que tenemos una instalación fotovoltaica de autoconsumo compuesta por una rama con 3 paneles en serie de placas con 37,45V de tensión y 8,98A de corriente máximas. Si no hubiera pérdidas de ningún tipo (caso hipotético), el esquema de conexión de las placas en serie se podría representar así:

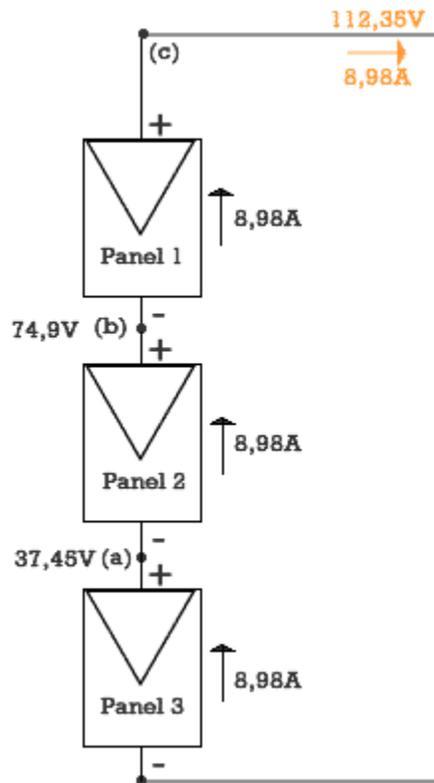


Ilustración 15 Paneles en serie

Como podemos ver indicado en color naranja, a la salida de la rama (c), tendremos la tensión resultante de la suma de cada una de las tensiones de cada panel que componen la rama en serie (112,35V) y la corriente será la misma que la de uno de los paneles (8,98A).

Si se avería un panel y tengo que cambiarlo por otro diferente, pues imaginemos que, como no encontramos en el mercado el mismo panel, vamos a comprar paneles solares con las siguientes especificaciones: 31,40V de tensión y 9,33A de corriente máximas.

Lo que va a suceder al conectar este módulo en serie con los demás paneles ya instalados, es que toda la rama (string) se pondrá a trabajar a la corriente de menor magnitud, en nuestro caso como el módulo SW 290 tiene una corriente (9.33A) mayor que los módulos ya instalados (8.98A), no sufrirá modificaciones la instalación.

En caso de que nuestro módulo tuviese una corriente inferior a los ya instalados, afectará a todo el string y se producirá una caída de producción, por lo tanto, no es recomendable usar módulos de sustitución con corrientes inferiores a las de los módulos instalados.

6.3.3. Conexión mixta de placas solares

Sería la última opción de configuración de las que nos podemos encontrar, en este caso sería una configuración donde encontramos ramas con paneles conectados en serie y a su vez, estas ramas, conectadas en paralelo. Esta configuración se usa cuando debemos lograr unas corrientes y tensiones de salida muy determinadas, y entonces “jugamos” con las opciones que nos dan los distintos tipos de conexionado. Veamos un ejemplo al respecto:

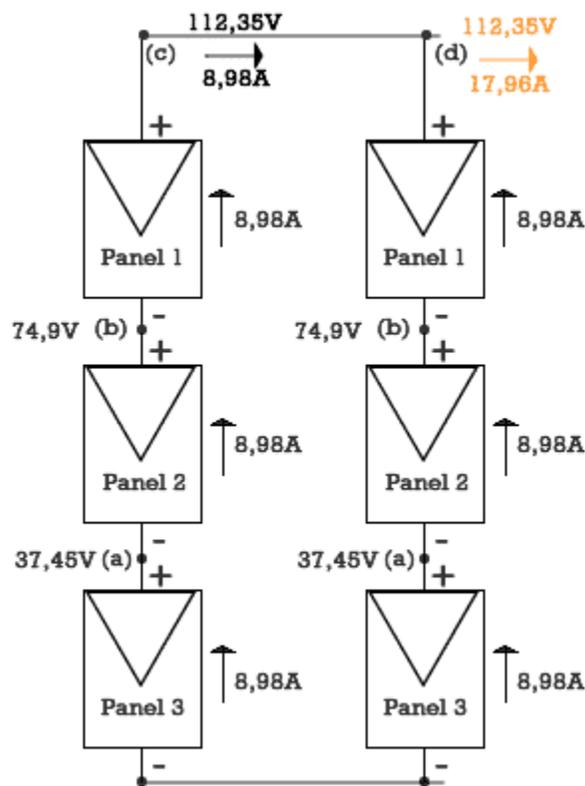


Ilustración 16 Conexión Mixta

Como podemos ver en el esquema eléctrico, en el punto (nodo) (c) de la primera rama (string) tenemos la suma de tensiones de los paneles y la corriente unitaria, en el punto (nodo) (d), que es la salida del sistema, tendremos la misma tensión

de salida de cada una de las ramas, pero como corriente de salida será la suma de la corriente de salida de cada una de las ramas, al encontrarse las dos ramas conectadas en paralelo.

Como resumen práctico, digamos que en conexiones en serie la corriente total (de salida) es igual a la de uno de los paneles que componen la rama (string) y la tensión total (de salida) es la suma de la tensión de cada panel conectado en serie. En conexiones en paralelo la tensión total (de salida) es igual a la de salida cada rama y la corriente total (de salida) es la suma de corrientes de cada rama.

6.4. Espacio necesario para paneles solares

Muchas personas se preguntan si donde viven es suficientemente soleado para tener paneles solares. Este no es realmente un problema. La mayoría de los lugares en México que no son particularmente soleados aún son aptos para instalar paneles solares. Es verdad que entre más luz solar haya, más electricidad producirán los paneles solares. Pero un sistema solar trata realmente de ahorrar dinero y los lugares más soleados no siempre tienen los niveles más altos de ahorro. Qué tanto dinero vas a ahorrar depende en gran parte de qué tan altas sean las tarifas de electricidad y qué tipo de descuentos e incentivos están a tu alcance.

Según un artículo publicado por la empresa AirDepot, los techos que encaran hacia el sur son los mejores, pero los techos que encaran al este y oeste igual te permiten producir suficiente energía para deshacerte de tu recibo de luz, ahorrar dinero, y reducir tu huella de carbono. Si tu techo no tiene un ángulo de 30 grados perfecto, los paneles solares igual funcionan si el lanzamiento está en 15 y 40 grados. De hecho, incluso si el techo es plano es posible instalar paneles solares siempre y cuando estén montados a un ángulo adecuado.

Por lo cual es importante considerar con que espacio contamos para instalar nuestros paneles solares y si este espacio nos será suficiente para nuestra instalación y mantenimiento. Además de verificar la forma y espacio con el que contamos y si este espacio tiene obstrucciones elementos que compliquen nuestro sistema o instalación del mismo. Lo más fácil es instalar paneles en un techo grande cuadrado. Una regla general es que, de cada kWh del tamaño de tu sistema, necesitarás alrededor de 30 metros cuadrados de espacio de techo. Un sistema típico de una casa puede requerir 120 metros cuadrados para instalar paneles solares. Generalmente, los instaladores solares diseñan el lugar donde los paneles pueden instalarse para maximizar su producción.

Es importante que tu techo reciba suficiente sol a lo largo del día para maximizar la producción de electricidad. Los árboles o edificios altos pueden bloquear al sol para que pegue a tu techo, y ese puede ser un problema. La sombra que dan los árboles, sin embargo, es algo que puedes controlar. Puedes cortar las hojas para que más sol pegue a tus paneles, y aun cuando parezca que no es ambientalmente amigable, resulta ser que sí lo es.

Los paneles solares pueden durar por más de 25 años así que tendrás que asegurarte de que tu techo está en buenas condiciones y que no necesite ser reemplazado en poco tiempo, por esto es que es muy importante tener en claro las condiciones y el lugar donde se ejecutara nuestro proyecto.

Los techos planos son buenos. Si tu techo tiene pendientes, el mejor ángulo es entre 30 y 40 grados. Recuerda que para que los paneles se mantengan por sí mismos, necesitan estar colocados a un mínimo de 15 grados. El ángulo máximo es de 40 grados, si pasa de este ángulo, el rendimiento no será eficiente.

Los paneles solares son compatibles con la mayoría de los materiales de techo incluyendo madera, cemento, grava, o metal. Los techos de pizarra y teja de barro pueden ser propensos al rompimiento, así que hay que estar seguros que tener un instalador con buena experiencia si tu techo esta hecho de estos materiales.

Para nuestro proyecto y hoja de cálculo tomaremos en cuenta que estamos haciendo un cálculo sobre paneles de 360w que su tamaño típico es de 200cm de largo por 100cm de ancho, lo que nos da un área de 2m² que será nuestra área requerida. Entonces para obtener nuestra área haremos la siguiente ecuación:

$$AR = NP * 2 M^2$$

Donde:

AR = Area requerida

NP = Numero de paneles

2M² = constante expresada en M²

Por ejemplo si tenemos un sistema que requiere de 26 paneles solares solo aplicamos la formula que consiste en multiplicar nuestros paneles solares por 2 y obtendremos que se necesitan 52 m² de espacio para poder tener nuestro sistema de energías fotovoltaicas.

7. Costo de un sistema fotovoltaico

La inversión necesaria para adquirir un sistema fotovoltaico depende de varios factores, por ejemplo: los precios internacionales del mercado fotovoltaico, la disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos fotovoltaicos, la ubicación y demanda energética de los usuarios. Las características particulares de todos los equipos necesarios para satisfacer la demanda energética (en calidad, cantidad y capacidad), la distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema (en cantidad de kilómetros por recorrer en vehículo todo terreno, en vehículo normal, en bestia o caminando), y los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos (generalmente entre el 10-30%), son factores que determinan en gran medida la cantidad de dinero que el usuario final invertirá para electrificar su vivienda.

Según el Manual de energía renovable sobre energía solar fotovoltaica, el costo inicial total de un sistema fotovoltaico individual típico en América Central, para

aplicaciones domésticas se estima entre **US\$ 800 y US\$ 1.000**, el cual incluye los equipos, el transporte y la instalación. De esta cantidad, los montos de mayor relevancia son un 30% correspondiente al módulo fotovoltaico, y un 15 % a la batería, al inversor, al transporte y a la mano de obra respectivamente, tal y como se muestra gráficamente en la siguiente. Sin embargo, la experiencia dice que para viviendas rurales muy alejadas y con vías de acceso deficientes, el costo de transporte suele ascender del 15 al 30% del costo inicial.

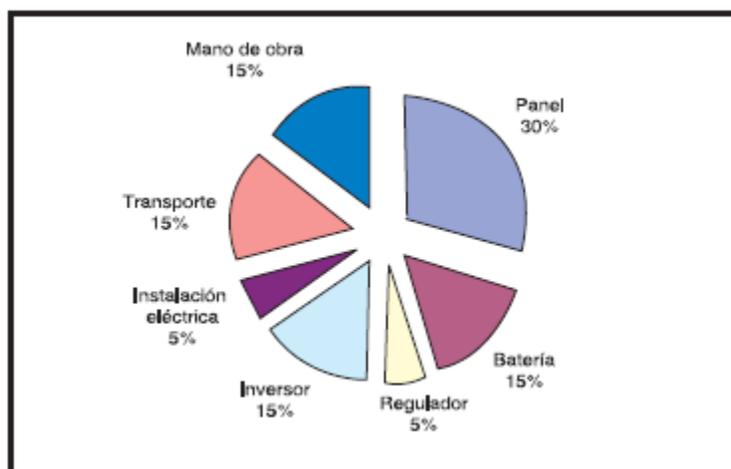


Ilustración 17: Distribución de costos de componentes de un sistema individual doméstico

Los costos totales de un sistema fotovoltaico pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Costos de inversión
- Costos de mantenimiento
- Costos de reemplazo

Los costos de inversión son aquellos en los que se debe incurrir inicialmente para la compra, transporte e instalación de los equipos fotovoltaicos. Estos costos pueden representar un 70-75 % del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil. La vida útil de un sistema fotovoltaico completo, correctamente instalado y con componentes de buena calidad, se estima entre 15 y 20 años.

Hay que recordar que la calidad y capacidad de los equipos fotovoltaicos y las condiciones de acceso al lugar donde se instalará el sistema pueden ocasionar un aumento o disminución significativa del costo inicial indicado.

La vida útil del sistema está determinada por el tiempo que tarda el módulo fotovoltaico en perder el 10% de su capacidad de producción de potencia. Nótese que, en este período, se deberá reemplazar la batería 3-4 veces, según las condiciones de trabajo.

Los costos de mantenimiento y operación son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones el sistema fotovoltaico. Normalmente, el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos no es más que la limpieza adecuada de los equipos, especialmente de los paneles fotovoltaicos, y el reemplazo oportuno del agua de las baterías; por lo tanto, los costos de mantenimiento son muy bajos y representan un 3-5 % del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil.

Los costos de reemplazo son aquellos en los que se debe incurrir cuando las baterías llegan al fin de su vida útil. Generalmente, esto sucede después de 3 - 5 años de uso, pero depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida la batería. Estos costos representan 20 - 27 % de los costos totales del sistema a lo largo de toda su vida útil.

Estos costos totales se muestran en la siguiente figura:

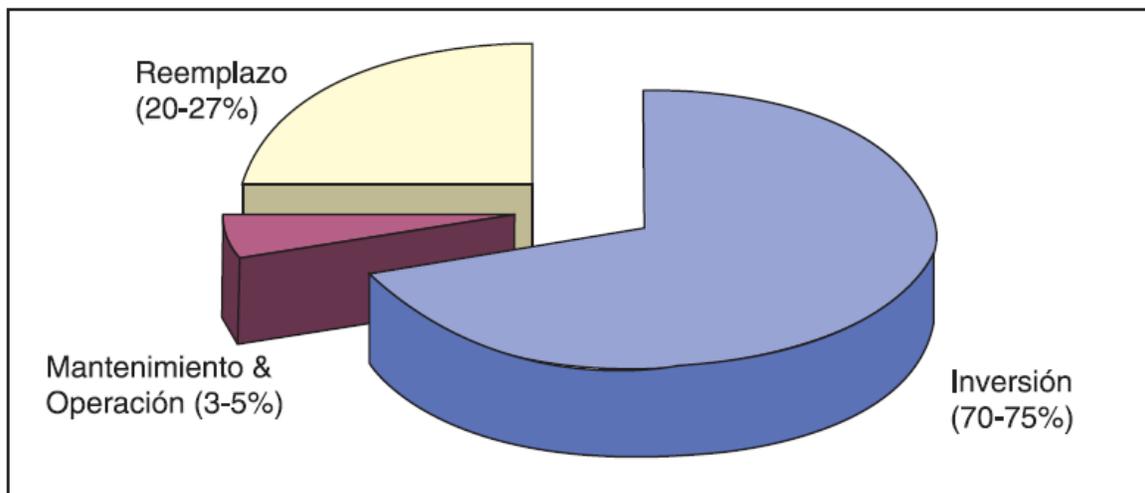


Ilustración 18 Distribución de costos de un sistema fotovoltaico

7.1. Costo de un panel solar

El coste de los paneles fotovoltaicos se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de

generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.¹⁵

Hasta 2005 el problema más importante con los paneles fotovoltaicos era el costo, que estaba bajando hasta 3 o 4 \$/W. El precio del silicio usado para la mayor parte de los paneles tuvo una breve tendencia al alza en 2008, lo que hizo que los fabricantes comenzaran a utilizar otros materiales y paneles de silicio más delgados para bajar los costes de producción. Debido a economías de escala, los paneles solares se hacen menos costosos según se usen y fabriquen más. A medida que ha aumentado la producción, los precios han continuado bajando y todas las previsiones indican que lo seguirán haciendo en los próximos años. A medida que ha aumentado la producción, los precios han continuado bajando y todas las previsiones indican que lo seguirán haciendo en los próximos años.

Según información de La revista "The Economist", publicó un artículo llamado "the rise of solar energy" donde dice que el coste de las células solares de silicio cristalino ha descendido desde 76,67 \$/Wp en 1977 hasta aproximadamente 0,36 \$/Wp (dólar por vatio o watt) en 2014. Esta tendencia sigue la llamada «ley de Swanson», una predicción similar a la conocida Ley de Moore, que establece que los precios de los módulos solares descienden un 20 % cada vez que se duplica la capacidad de la industria fotovoltaica.¹⁶

¹⁵Condición que se da cuando una fuente de generación de energía eléctrica es capaz de producir a un coste inferior o igual al precio generalista de compra de la electricidad directamente de la red eléctrica.

¹⁶ The Economist - the rise of solar energy

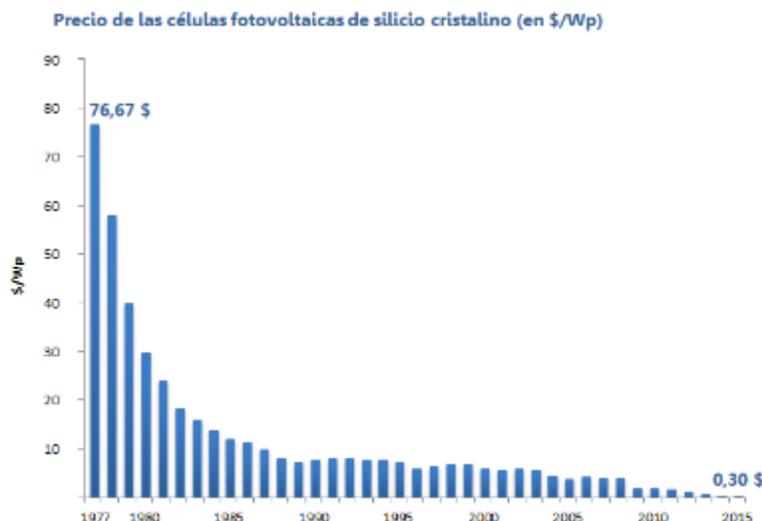


Ilustración 19 Tendencia de costo de un panel solar

7.2. Financiamiento de un sistema fotovoltaico

En comparación con otras fuentes de generación eléctrica, como por ejemplo una planta de diésel, el costo inicial de un sistema fotovoltaico es relativamente alto pero el costo de operación y mantenimiento es muy bajo. Esto hace frecuentemente que un sistema fotovoltaico sea la opción más barata, aunque el costo inicial constituya una barrera para que muchos usuarios potenciales, sobre todo en zonas rurales, no los puedan adquirir. Por esta razón se buscan mecanismos de financiamiento que permitan una mayor aplicación de estos sistemas, i.e.:

7.3. Créditos

Algunos suplidores de equipos fotovoltaicos brindan crédito a sus clientes para la compra de un sistema. En este esquema, generalmente el cliente paga un 30% al contado, con el fin de cobrar el costo de instalación de forma inmediata, y el resto en 4 ó 5 pagos periódicos, en plazos no mayores a un año. Este crédito requiere que el suplidor cuente con varios años de experiencia para conocer el mercado, así como un flujo considerable de ventas para tener suficiente capital de trabajo.

7.4. Alquiler de equipo fotovoltaico

Otro esquema para superar la barrera del alto costo inicial es que el usuario pague una cuota mensual por el consumo de electricidad a la empresa que instala el

sistema y en cuyo caso el usuario no es el dueño del equipo sino la empresa que brinda el servicio. Esto significa que, en vez de suministrar equipo, se suministra el servicio de energía eléctrica. Ya hay varias experiencias con este sistema de pagos en América Central, por ejemplo, en Honduras, Guatemala y Costa Rica.

La decisión de desarrollar un negocio para suministrar servicios en vez de equipo, depende principalmente de las características del mercado, como por ejemplo preferencias de los clientes, capacidad de pago y capacidad de operar o administrar los equipos. También depende de factores como el marco legal del país y los intereses del desarrollador.

Hay que considerar que la venta del servicio eléctrico implica un mayor nivel de involucramiento, interrelación y seguimiento con los clientes; una mayor capacidad técnica y gerencial y compromiso financiero de parte de la empresa promotora. Por otro lado, un mayor número de viviendas y comunidades pueden estar interesadas en un sistema como éstos. El esquema es muy aplicable para aquellas zonas que en unos años contarán con conexión a la red eléctrica. Esta modalidad requiere de la posibilidad de capital inicial porque hay que comprar los equipos y las ganancias no son inmediatas, pero el riesgo de no pago es menor que en el esquema de crédito, ya que un alquiler no pagado puede compensarse mediante la transferencia del equipo a otro cliente.

8. Normas y certificaciones sobre sistemas fotovoltaicos

Existen de manera internacional (y nacional) normas, estándares y certificaciones que tienen como objetivo homologar estándares para los productos o servicios (incluidas las tecnologías para los sistemas fotovoltaicos) que se intercambian entre diversas regiones, todo con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

Una de las organizaciones líderes en la creación de estándares en el mundo es el “Institute of Electrical and Electronics Engineers” que es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y el desarrollo en áreas técnicas. Los estándares IEEE afectan a una amplia gama de industrias, incluyendo: potencia y energía.

Los módulos fotovoltaicos deben cumplir con una serie de estándares tanto nacionales como internacionales, para su buen funcionamiento. Se tiene la creencia, de que los paneles solares en México no son lo suficientemente seguros, pero esta percepción está muy alejada de la realidad. En principio, la correcta instalación de paneles solares en México debe cumplir con ciertas normas de construcción, pasando luego por la evaluación de medición de corriente. Por último, están las normas que velan por el desempeño eficiente de los módulos fotovoltaicos.

Para México los inversores apropiados serían los que tengan certificación UL1741 pues se acoplan mejor a la red eléctrica de 60Hz, pero para el caso de Chile en donde la red eléctrica cuenta con las mismas características que el sistema europeo de 230VAC L-N a 50Hz un inversor IEC sería el más apropiado.

Otro tipo de normas que surgen en México tras la aprobación de alguna ley, tal es el caso de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, son generadas por otra entidad como la ANCE (Asociación de Normalización y Certificación A.C.) desarrolla y aporta las normas mexicanas para evaluar la eficiencia de los dispositivos y componentes de sistemas fotovoltaicos.

De acuerdo al gobierno mexicano, los paneles solares en México deben pasar por tres fases que certificarán distintos aspectos del sistema solar como un todo. Así, la primera fase de certificación se refiere a la construcción de los módulos fotovoltaicos.

En ella se contemplan las siguientes certificaciones vigentes:

- NMX-J-618/1-ANCE-2010
- NMX-J-618/3-ANCE-2011
- NMX-J-618/4-ANCE-2011
- NMX-J-618/5-ANCE-2011
- NMX-J-618/6-ANCE-2011.

Entre otras regulaciones, estas normativas establecen los métodos de construcción de módulos solares de película delgada y de silicio cristalino.

Las normativas mexicanas que certifican la medición y el desempeño de los módulos fotovoltaicos.

El 20 de mayo de 2011 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la declaratoria de vigencia de la serie de normas mexicanas NMX-J-643-ANCE, para la evaluación de algunas características eléctricas en los módulos y dispositivos fotovoltaicos. Respecto a las certificaciones que dan fe de la correcta medición de los módulos fotovoltaicos, cabe mencionar las siguientes:

- NMX-J-643/1-ANCE-2011
- NMX-J-643/2-ANCE-2011
- NMX-J-643/3-ANCE-2011
- NMX-J-643/5-ANCE-2011
- NMX-J-643/7-ANCE-2011.

Estos certificados ponen a prueba la medición de la corriente y tensión del sistema, así como también establecen la temperatura ideal para los dispositivos del mismo según el método de tensión, entre otros requisitos.

Por último, la tercera fase de certificación para módulos solares en México implica la medición de la eficiencia del sistema como un todo.

De manera que, las certificaciones:

- NMX-J-655/1-ANCE-2012
- NMX-J-655/2-ANCE-2012
- NMX-J-655/3-ANCE-2012

Evalúan el desempeño de irradiación y la medición de eficiencia del sistema, entre otros. Los módulos fotovoltaicos en México son de los más seguros del mercado. Gracias al cumplimiento de estos certificados de seguridad, la energía sustentable en México cuenta con el aval para brindar confianza a los usuarios de

paneles solares. Como has podido ver, la instalación de paneles solares en el país cuenta con tantas verificaciones como las tiene el sistema eléctrico tradicional.

Además, los sistemas solares mexicanos ofrecen una garantía que abarca los 25 años, haciéndolos duraderos además de seguros.

Además de todas estas certificaciones contamos con la NOM-001-SEDE-2012 sobre Instalaciones Eléctricas (utilización), en su artículo numero 690 pagina 731 no habla sobre sistemas solares fotovoltaicos, en el cual podemos encontrar generalidades como las ya mencionadas en este trabajo además de contener información más especializada y detallada el cual podemos consultar si queremos conocer más conceptos y más detalles de estos, sin embargo estas normas en general son ocupadas principalmente por gente especializada y empresas que se dedican a los sistemas fotovoltaicos o a la construcciones paneles solares ya que con estos se controla la calidad de estos elementos, por lo que estas normativas y certificaciones solo nos serán útiles si nosotros queremos ejecutar la instalación lo cual no es recomendable, ya que en estos casos es mejor contratar a una persona especializada. Cabe mencionar que estas normas no se tienen que hacer exactamente como se indican en ellas sin embargo podemos utilizarlas como una guía muy completa y avanzada si es de nuestro interés aprender mas sobre este tema y conocer más elementos que podemos adicionar a nuestros sistemas.

9. Diseño de un sistema fotovoltaico

Ahora que ya sabemos cómo se calcula la energía solar procederemos a hacer el cálculo de nuestra propia instalación de paneles solares, para esto utilizaremos la metodología antes mencionada, utilizando los datos ya mencionados anteriormente, y procederemos con el primer parte que es averiguar la energía consumida en la vivienda, esta se puede obtener a partir del recibo de luz del último periodo pagado, es preferible tener los datos de todo el año para poder tener un dato más preciso pero si no se cuenta con esta información bastara con promediar el del último periodo.

Lo primero que necesitas es consultar tu recibo de luz de CFE. En la sección de información del promedio diario de consumo encontraras una cantidad marcada con la acotación Kwh.

Esta se refiere a la cantidad de kilowatts por hora que consumieron todos tus aparatos y te servirá para realizar el cálculo de paneles que necesitaras para realizar un sistema fotovoltaico autónomo, es decir, para que puedas desconectarte del servicio de CFE (aunque no es recomendable hacerlo)

De acuerdo al recibo que utilizaremos para ejemplificarlo, el consumo promedio diario de Kwh es de 2.05. Con esta cantidad se realizará un ejemplo para calcular los paneles que necesitas para tu hogar, para abastecer el servicio eléctrico.

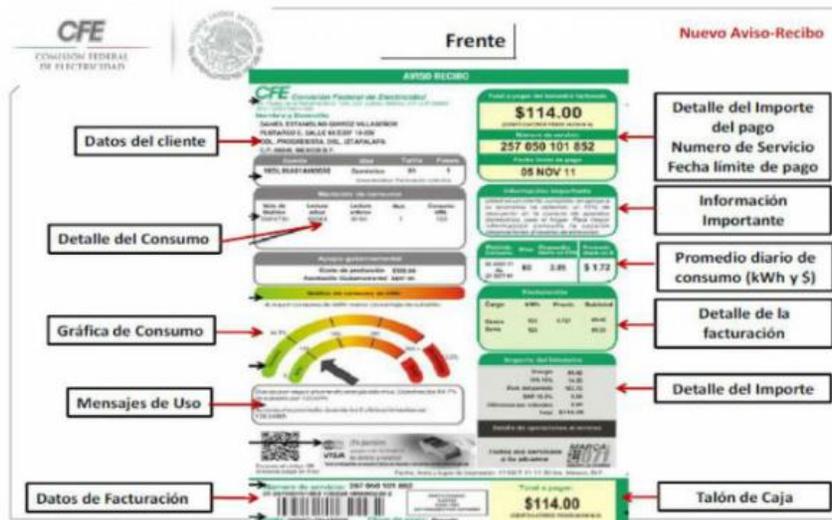


Ilustración 20 Recibo de CFE

Multiplicamos el consumo promedio diario de Kwh por 1,000 para obtener la energía neta en watts que hay que captar:

$$3.29 \text{ KWh} \times 1,000 = 3,290 \text{ watts}$$

El resultado se divide entre 5 Horas, que es el promedio de luz diaria que sirve para que el panel pueda captar y almacenar energía eléctrica:

$$3,290 / 5 \text{ (horas de solo pico promedio al día)} = 658 \text{ watts}$$

Finalmente debemos dividir los watts que se necesitan captar mediante los paneles. Ya que un panel casero suele contar con una capacidad de 60 watts, realizamos la siguiente división:

$$658/60= 10.97 \text{ paneles (11 paneles en total)}$$

Por lo tanto, si tu consumo diario es de aproximadamente 3.292.05 Kwh, necesitas siete paneles para captar tu energía de consumo diaria.

También podemos tener un recibo de luz que llega de la siguiente forma, y en la segunda parte de nuestro recibo podemos observar el consumo que hubo en este periodo, el cual consta de dos meses, del 05 de abril al 06 de junio 2019 (62 días). Por lo cual solo tendríamos que hacer la cuenta del periodo que estamos pagando, es decir: verificar cuantos días hay del 05 de abril al 06 de junio, al hacer las cuentas obtenemos que son 62 días. Después solo tenemos que dividir el número de kwh totales que vienen en nuestro recibo de luz entre los días del periodo, es decir:

$$204 \text{ kwh} / 62 \text{ días} = 3.29 \text{ kwh día}$$

De esta forma obtendremos el primer dato que necesitamos, así que ya nada más queda repetir los pasos anteriores y procedemos con el cálculo.

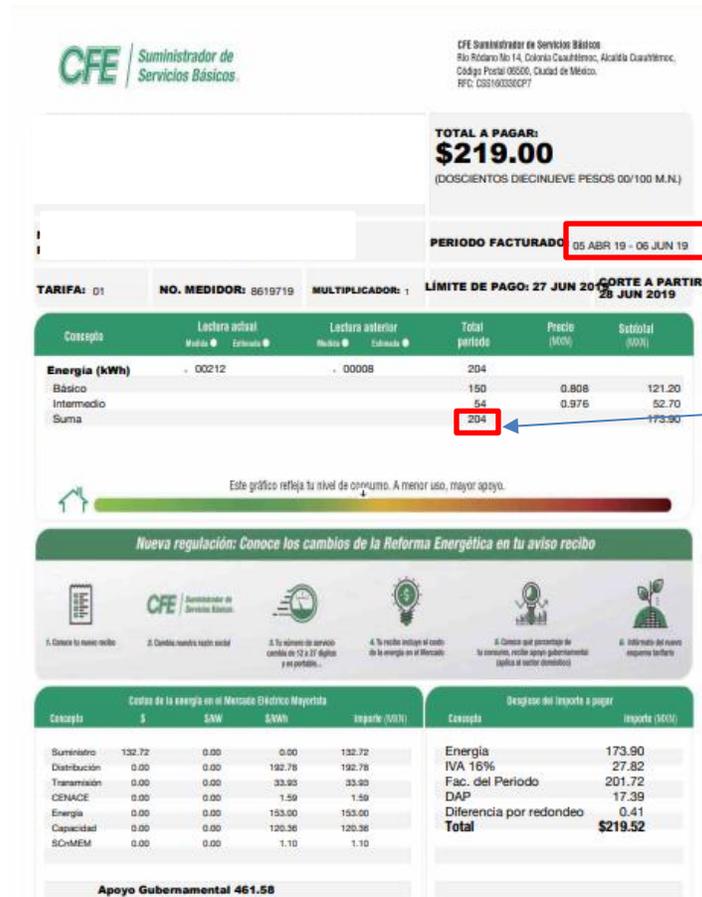


Ilustración 21 Recibo de CFE

Este método es el más fácil y rápido que hay, pero podemos utilizar otro método más preciso si es que queremos tener una mayor certeza. Para ello utilizaremos más datos y así podremos arrojar un resultado con menos margen de error.

Lo primero que haremos será fijarnos nuevamente en nuestro recibo de luz de CFE, en la parte posterior podemos encontrar el consumo histórico que es el que nos interesa para tener un dato más certero.

Consumo histórico



Consumo Histórico

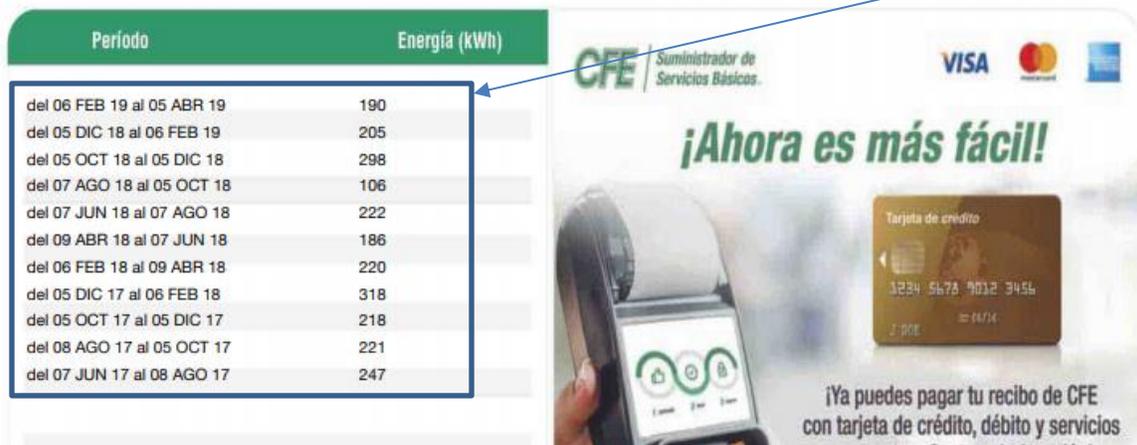


Ilustración 22 Recibo CFE revés

Ahora esta información la descargamos en una hoja de Excel para poder trabajar la información.

Periodo		Dias	Kwh
05/04/2019	06/06/2019	62	204
06/02/2019	05/04/2019	58	190
05/12/2018	06/02/2019	63	205
08/10/2018	05/12/2018	58	298
07/08/2018	05/10/2018	59	106
07/06/2018	07/08/2018	61	222
09/04/2018	07/06/2018	59	186
06/02/2018	09/04/2018	62	220
05/12/2017	06/02/2018	63	318
05/10/2017	05/12/2017	61	218
08/08/2017	05/10/2017	58	221
07/06/2017	08/08/2017	62	247

Tabla 2 Periodos

Como podemos observar se colocó el periodo que viene en nuestro recibo telefónico y después se calculó cuantos días tiene este periodo y en la siguiente columna colocamos el dato de kwh que viene en nuestro recibo. Después proseguiremos a hacer los cálculos necesarios con nuestra información, primero calcularemos la energía utilizada por día, esto se hará dividiendo los kwh entre los días que ocupo el periodo como en el ejemplo anterior. Utilizando el primer dato tendremos la siguiente operación:

$$204 \text{ wkh} / 62 = 3.29 \text{ kwh día}$$

Programamos eso en nuestra hoja de Excel y seguimos con los demás datos. A continuación, obtendremos lo que es la irridación, que quiere decir, la cantidad de luz o de sol que llega a nuestra localidad. Para esto tendremos que apoyarnos del programa PVsyst el cual es de acceso libre y de forma gratuita, solo basta con buscarlo en nuestro buscador de internet de nuestra elección y descargar el programa de su página oficial.

Nos aparecerá el programa ejecutado de esta forma.

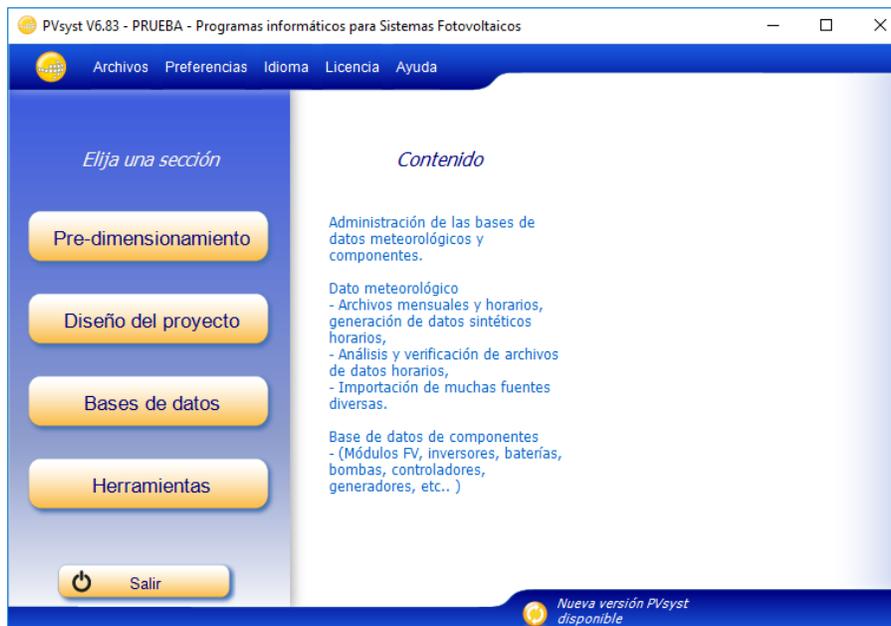


Ilustración 23 PVsyst

Nos vamos a la parte que dice base de datos y seleccionamos sitios geográficos.

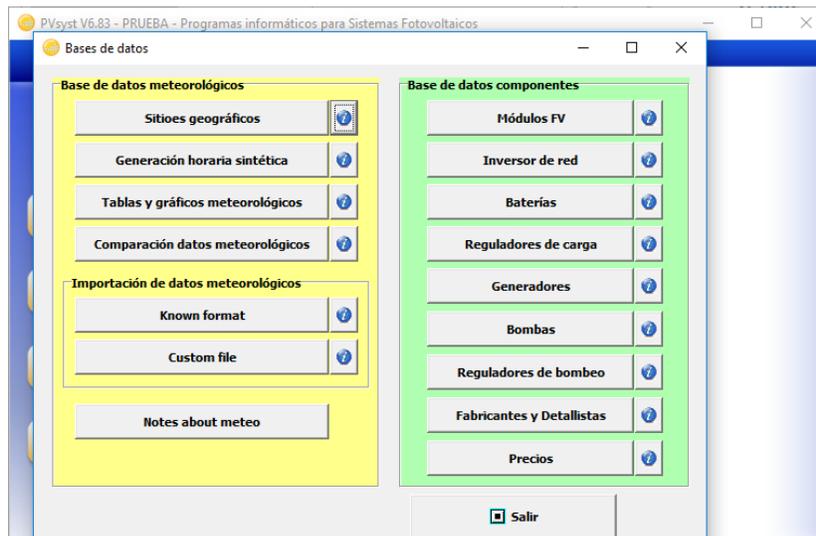


Ilustración 24 PVsyst-datos

Se nos desplegará una ventana con múltiples ciudades y buscamos en donde estemos buscando instalar nuestros paneles solares, de no encontrarse el lugar que queremos seleccionamos en la parte inferior la opción que dice nuevo, después seleccionamos el punto que estamos buscando en el mapa interactivo. Como este lugar que elegimos para este ejemplo se localiza en San Juan Teotihuacán estado de México, seleccionare esta ubicación en el mapa interactivo.

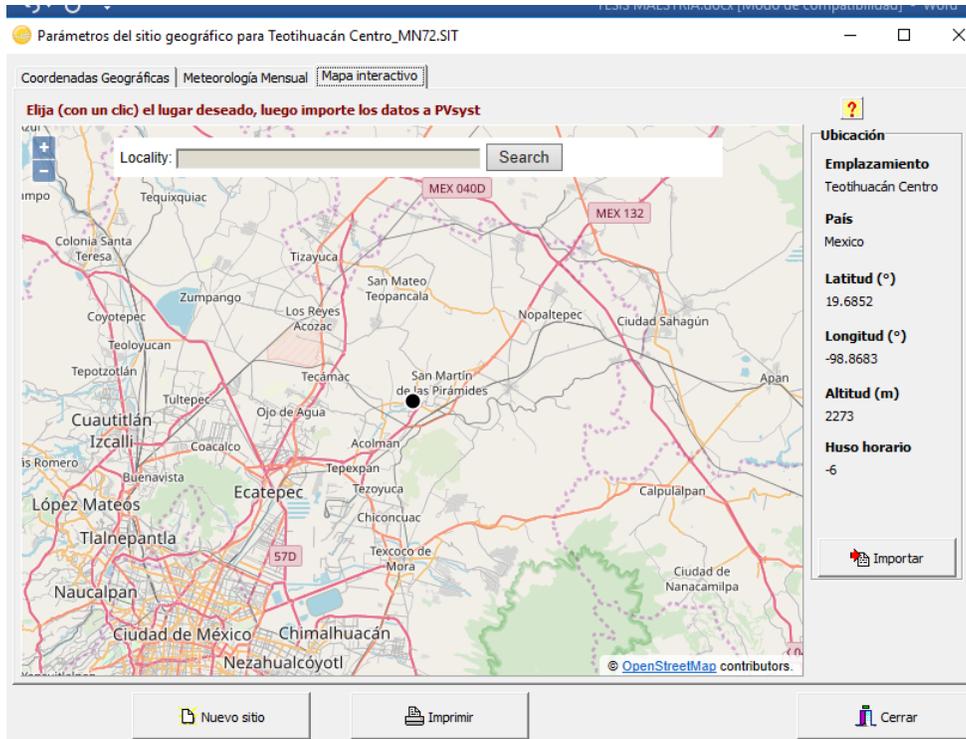


Ilustración 25 PVsyst mapa

Por último, seleccionamos “Meteorología mensual y nos arroja los datos que queremos para nuestro ejemplo.

	Irradiación global horizontal kWh/m ² .día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² .día	Temperatura °C	Velocidad del Viento m/s	Linke Turbidity [-]	Relative Humidity %
Enero	4.31	1.39	13.7	2.60	3.278	48.4
Febrero	5.10	1.74	15.4	2.90	3.474	42.9
Marzo	5.81	2.07	17.5	3.10	3.410	37.8
Abril	5.98	2.31	18.8	3.10	3.715	41.0
Mayo	5.78	2.64	19.0	3.10	3.879	45.9
Junio	5.24	2.64	17.9	3.10	3.771	59.9
Julio	5.25	2.34	17.6	2.89	3.410	63.4
Agosto	5.10	2.51	17.5	2.90	3.278	65.0
Septiembre	4.49	2.00	16.9	2.90	3.657	70.1
Octubre	4.50	1.95	16.5	3.01	3.474	63.2
Noviembre	4.45	1.74	14.5	2.70	3.410	56.2
Diciembre	4.00	1.48	13.8	2.49	3.345	49.8
Año	5.00	2.07	16.6	2.9	3.508	53.6

Irradiación global horizontal variabilidad de un año al otro 4.5%

Ilustración 26 PVSystem irradiación.

Como podemos observar, nos arroja el dato de Irradiación global horizontal, esta es la que requerimos. Como los datos que tenemos comprenden dos meses, seleccionaremos los meses que comprenden nuestros recibos de luz y los promediaremos para tener el dato necesario.

Irradiacion
5.88
5.455
4.155
4.475
4.795
5.245
5.88
5.455
4.155
4.475
4.795
5.175

Tabla 3 Irradiación.

Por último, calcularemos lo que será el Factor de energía, que se obtendrá al dividir la irradiación entre la energía kwh, para tener completa nuestra tabla, y quedaría de la siguiente forma:

Periodo	Dias	Kwh	Energia kwh/dia	Irradiacion	Factor de Energia
05/04/2019 06/06/2019	62	204	3.290322581	5.88	1.787058824
06/02/2019 05/04/2019	58	190	3.275862069	5.455	1.665210526
05/12/2018 06/02/2019	63	205	3.253968254	4.155	1.276902439
08/10/2018 05/12/2018	58	298	5.137931034	4.475	0.870973154
07/08/2018 05/10/2018	59	106	1.796610169	4.795	2.668915094
07/06/2018 07/08/2018	61	222	3.639344262	5.245	1.441193694
09/04/2018 07/06/2018	59	186	3.152542373	5.88	1.86516129
06/02/2018 09/04/2018	62	220	3.548387097	5.455	1.537318182
05/12/2017 06/02/2018	63	318	5.047619048	4.155	0.823160377
05/10/2017 05/12/2017	61	218	3.573770492	4.475	1.252178899
08/08/2017 05/10/2017	58	221	3.810344828	4.795	1.25841629
07/06/2017 08/08/2017	62	247	3.983870968	5.175	1.298987854

Tabla 4 Tabla Factor de Energía

Ya que tenemos nuestra tabla lista procedemos a los últimos cálculos de nuestros paneles solares necesarios para nuestra vivienda. Aquí tendremos dos opciones que podremos considerar:

Opción 1: Podemos promediar la energía kwh para saber cuánta energía se requiere en promedio para cumplir con nuestras necesidades energéticas, quedando de la siguiente manera:

Energía kwh promedio: 3.625

La multiplicamos por 1,000 para así obtener watts:

$$3.625\text{kwh} * 1,000 = 3,625.88 \text{ watts}$$

Esto lo dividimos entre 5 horas pico que tenemos de luz solar en este lugar

$$3,625.88 / 5 = 725.18$$

Y por último esto lo dividimos entre la potencial que tienen nuestros paneles solares. Utilizaremos paneles solares de capacidad de 60watts que son los utilizados convencionalmente en viviendas, quedando el siguiente resultado.

$$=725.18 / 60 = 13.43$$

Por lo tanto, tenemos que se requieren, 14 paneles solares, para cubrir nuestras necesidades energéticas promedio.

Cabe aclarar que esto cubrirá solo las necesidades energéticas promedio, es decir; no siempre cubrirá nuestras necesidades energéticas, por lo cual podemos ir a la opción 2

Opción 2: En esta opción volveremos a utilizar la tabla que hicimos anteriormente, pero esta vez no utilizaremos el promedio obtenido, sino que veremos la columna de "Factor de Energía" y veremos cuál es el resultado más bajo que encontramos, esto para ver en qué periodo estará más exigido nuestro factor.

Periodo		Dias	Kwh	Energia kwh/dia	Irradiacion	Factor de Energia
05/04/2019	06/06/2019	62	204	3.290322581	5.88	1.787058824
06/02/2019	05/04/2019	58	190	3.275862069	5.455	1.665210526
05/12/2018	06/02/2019	63	205	3.253968254	4.155	1.276902439
08/10/2018	05/12/2018	58	298	5.137931034	4.475	0.870973154
07/08/2018	05/10/2018	59	106	1.796610169	4.795	2.668915094
07/06/2018	07/08/2018	61	222	3.639344262	5.245	1.441193694
09/04/2018	07/06/2018	59	186	3.152542373	5.88	1.86516129
06/02/2018	09/04/2018	62	220	3.548387097	5.455	1.537318182
05/12/2017	06/02/2018	63	318	5.047619048	4.155	0.823160377
05/10/2017	05/12/2017	61	218	3.573770492	4.475	1.252178899
08/08/2017	05/10/2017	58	221	3.810344828	4.795	1.25841629
07/06/2017	08/08/2017	62	247	3.983870968	5.175	1.298987854

Tabla 5 Factor de Energía

Como podemos ver los periodos seleccionados en rojo son los más desfavorables, esto que ya que se tiene una mayor exigencia de energía eléctrica y la irradiación no es muy alta para compensarlo, por lo cual es el peor escenario que podríamos encontrar. Por lo tanto, elegiremos este escenario para hacer nuestro cálculo en el cual cubrirá todas nuestras necesidades energéticas. Por lo tanto, procedemos a realizar los mismos pasos, pero con los datos que arroja el Factor de energía más bajo.

Tomamos nuestra energía kwh7dia que es de 5.048 y lo multiplicamos por mil para convertirlo a watts.

$$5.048 \times 1,000 = 5,047.62$$

Ahora lo multiplicamos por 5 horas pico que encontramos en esta zona.

$$5,047.62 \times 5 = 1,009.52$$

Y por último lo dividimos entre la potencia del panel solar convencional de 60watts, quedándonos el siguiente resultado:

$$1009.52 / 60 = 16.83$$

Por lo tanto, se tiene que se requieren 17 paneles solares para cubrir nuestras necesidades energéticas, aunque estas se encuentren en el peor escenario posible.

Estas dos opciones son útiles, aunque se aconseja utilizar la primera opción ya que la segunda es para situaciones extraordinarias, es decir que no será común que sucedan y se puede optar por utilizar la conexión convencional para estos días.

9.1. Tipo de batería necesario

Los sistemas FV con baterías de almacenamiento están especialmente indicados en zonas donde no hay oferta de suministro eléctrico disponible o o bien éste no es fiable. La capacidad de almacenar la energía eléctrica generada por el sistema FV, lo hace una fuente de energía fiable ya sea de día o de noche, llueva o haga sol. Los sistemas FV con baterías pueden ser diseñados para alimentar equipos que utilicen corriente continua o alterna. Las personas que usan equipos convencionales de corriente alterna, deben añadir un inversor entre las baterías y la carga. Los sistemas FV con baterías de almacenamiento se utilizan en todo el mundo para suministrar electricidad a luces, sensores, aparatos de grabación, interruptores, electrodomésticos, teléfonos y televisores.

Para elegir nuestro tipo de batería y/o número de baterías necesitamos la energía necesaria que ocupa nuestra vivienda. Para nuestro ejemplo tenemos que la energía necesaria es 3.29Kwh, este dato lo necesitamos convertir a watts, por lo tanto, lo multiplicamos por 1000 y tenemos 3290.32 watts de energía necesaria. Ahora, haciendo el supuesto de que no todos los días tendremos radiación se sacara los días de autonomía, estos días quieren decir los días que no abra sol o este llegara en un porcentaje muy bajo, este número usualmente oscila entre 2 y 5 días, y el utilizado comúnmente es de 2 días, por lo tanto, nosotros utilizaremos este. Por lo tanto, solo multiplicaríamos esos números quedando de la siguiente forma:

$$3290.32\text{Wh} \times 2 = 6580.65 \text{ Wh}$$

Ahora ya tendríamos los watts requeridos y continuamos por dividir esta capacidad entre los volts de nuestro sistema, que si bien recordamos está diseñada a 12V ya que es una vivienda con una capacidad pequeña por lo tanto queda de la siguiente forma:

$$\frac{6580.65wh}{12v} = 548.39 \text{ Ah}$$

Quedándonos como resultado 538.39Ah (amperios hora) ya que al multiplicar voltios por amperios queda amperios hora, que es la unidad más utilizada en las baterías y por ultimo este número lo dividiríamos entre 0.8, este factor es para proteger a la batería y que tenga un poco de más capacidad de la necesaria ya que la capacidad de la batería muchas veces llega a empezar a bajar o tienen perdidas con el uso y el paso del tiempo así que con este factor protegemos la batería de sobre cargarse. Ya con esto tenemos nuestro resultado final el cual queda de la siguiente forma:

$$\frac{548.39}{0.80} = 685.48Ah$$

Por lo cual la batería necesaria es una batería de 12V y de 685Ah o mas según se encuentren en catalogo o disponibilidad de adquisición.

9.2. Selección del inversor.

Las células fotovoltaicas y módulos generan corriente continua (CC). Dado que la mayoría de los electrodomésticos usan corriente alterna (CA), el inversor se usa para convertir la corriente continua en alterna, adecuando también la frecuencia y la tensión a la red local. Los inversores para aplicaciones fotovoltaicas incluyen funciones de control para optimizar la potencia de salida, a la que nos referiremos como MPPT (maxium power point tracking). La potencia de salida es igual a la tensión multiplicada por la corriente ($P=V \times I$), y la función MPPT continuamente ajusta la impedancia de la carga para garantizar la potencia óptima.

En el pasado, se utilizaba un único inversor para una matriz o sistema FV completo. Actualmente, la práctica común es instalar un inversor por cada línea de módulos, o incluso dotar a cada módulo de su propio inversor, un proceso al que también nos referimos como crear “módulos CA”.

Para reducir las pérdidas entre los paneles FV y el inversor, se recomienda que éste se sitúe lo más cerca posible de los paneles FV. Además, asegúrese de que dicho inversor está suficientemente refrigerado y no lo exponga a la luz solar directa.

El inversor es uno de los componentes más importantes en los sistemas conectados a red, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga. Es un dispositivo que transforma la energía de corriente continua producida por los módulos (12, 24, 48 V) en energía alterna (generalmente 220 V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red con la que trabaja en régimen de intercambio. Existen diferentes tipos de inversores, pero se recomienda seleccionarlo en función del tamaño de la instalación que se pretende realizar. El inversor se instala entre el sistema fotovoltaico y el punto de conexión a la red.

En el mercado también se encuentran inversores incorporados a los módulos fotovoltaicos, formando un único sistema compacto que se puede conectar directamente a las cargas, debe proporcionar la potencia que pueda estar conectada, ya sea así el caso más crítico es cuando todas las cargas están conectadas al sistema.

Así que el tipo que hay que utilizar se puede identificar una vez decidida la potencia del sistema fotovoltaico y por lo tanto el número de módulos fotovoltaicos.¹⁷

Por lo tanto, para nuestro ejemplo lo único que necesitamos es saber la potencia máxima del hogar, esto se puede saber cuantificando los aparatos, focos y todo lo que utilice energía eléctrica en el hogar, se hace la sumatoria de los consumos de todos estos aparatos y se tiene la potencia, en nuestro ejemplo, obtuvimos una potencia máxima de 5.13, por lo tanto, solo es necesario adquirir un inversor que resista potencia de 5.13 kw.

9.3. Medidor bidireccional.

Este tipo de medidor, además de poder medir el consumo de energía eléctrica de la compañía girando en el sentido normal, puede girar de manera contraria, haciendo posible que la CFE (Comisión Federal de Electricidad) reste a nuestro

¹⁷ Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira

recibo la energía que estamos generando y sume a nuestro favor la energía de exceso, lo que evitaría la instalación de un almacén de electricidad.

El medidor bidireccional funciona de la siguiente forma: durante el día producimos energía eléctrica con nuestros paneles solares fotovoltaicos, el medidor se encarga de calcular esta energía y restarla al consumo del servicio de luz. Cuando la energía resulta en excedente podemos utilizarla por la noche o en caso contrario de haber utilizado más energía de la producida, puedes volverte a conectar al servicio de la comisión de electricidad. Y en el mejor de los casos, al fin de mes haber producido un excedente de energía que se podrá utilizar en los próximos 12 meses.

Un medidor bidireccional es la mejor opción para las personas que quieren comenzar a utilizar la energía fotovoltaica como fuente de electricidad, pues es la manera más práctica de conocer el ahorro económico de la energía solar y obtener una bonificación tangente del provecho que se le está dando a los módulos. Aunque la CFE no proporciona el medidor bidireccional, éstos pueden conseguirse por alrededor de 2 mil pesos con los diferentes distribuidores.

9.4. Resumen de nuestro ejemplo

Como último podemos resumir lo que obtuvimos de nuestro ejemplo y sus resultados, quedando de la siguiente forma:

Resumen		
Energía promedio diaria	3.29	Kwh
Paneles	5.00	Piezas
Batería	685.48	Ah

Tabla 6 Resumen

Se requieren 5 paneles solares de 150W a 12V, con una batería de 685.48Ah y un inversor de potencia máxima de 5.13Kw o mayor.

Como equipo sugerido se tiene las siguientes muestras y el precio aproximado en cada uno de ellas para hacer un análisis costo beneficio



ABB 6K UNO-DM-US-UL

ABB

El nuevo inversor monofásico UNO-DM-PLUS es una actualización de la familia de inversores UNO y es una solución óptima para instalaciones residenciales.

La comunicación inalámbrica permite una simple, rápida y segura instalación sin necesidad de abrir la cubierta frontal del inversor.

Category: Inversores

Ilustración 27 Inversor ideal



Suntech 360W Mono

SUNTECH

Paneles solares confiables e inteligentes.

- Fabricante Tier 1
- Módulos SMART
- 12 años de garantía en producto

Category: Paneles Solares

[f](#) [t](#) [e](#) [in](#)

SMART
PANEL



Ilustración 28 Panel Solar



Ilustración 29 Batería ideal

9.5. Análisis costo beneficio

Como ya vimos tenemos la integración del equipo necesario para nuestro proyecto, que incluye las celdas solares, el inversor y la batería. Ya que contamos con los precios aproximados podemos hacer una comparativa del costo total del proyecto contra, nuestro pago de recibo de luz para averiguar el tiempo de retorno del costo de nuestro proyecto y saber si es un proyecto que dará ganancias a corto o mediano plazo.

Nuestro primer dato sería, cuanto se pagó de nuestro recibo de luz de CFE, si bien recordamos, este dato lo tenemos en nuestra ilustración número 21 el cual era de 219.00 pesos mexicanos.

TOTAL A PAGAR:
\$219.00
 (DOSCIENTOS DIECINUEVE PESOS 00/100 M.N.)

Ilustración 30 Monto Pagado

Ahora hacemos la sumatoria de nuestros equipos, multiplicando la cantidad de elementos necesarios, con el precio aproximado que se obtuvo, y por último realizando la sumatoria de estos quedando de la siguiente forma:

COSTO PROYECTO			
Elemento	P.U.	Cantidad	Total
Panel solar	2,661.00	2.00	5,322.00
Inversor	25,568.00	1.00	25,568.00
Bateria	8,464.00	1.00	8,464.00

Tabla 7 Resumen de costo

Obteniendo como resultado que nuestro proyecto será de **39,354.00** aproximadamente, este precio puede variar conforme al envío e instalación de los componentes del proyecto, aunque algunas veces estos precios incluyen instalación y envío, cabe aclarar que no estamos contando con el costo de una estructura para dar el ángulo ideal pensando en que ya se cuenta con alguna pendiente en nuestra ubicación, sin embargo si no se cuenta con esta se puede aumentar el precio de 650 pesos mexicanos aproximadamente por cada paneles.

Ahora solo tenemos que dividir el precio de 39,354.00 entre nuestro pago bimestral para saber el periodo de retorno de nuestra inversión, por lo tanto:

$$\frac{39,354.00 \text{ pesos}}{219.00 \text{ pesos. bimestre}} = 179.70 \text{ Bimestres}$$

El resultado obtenido quedaría en bimestres, el cual nos da un resultado de 179.70 bimestres, para que se vea más claro esto lo pasamos a meses y después a años para tener un panorama más claro.

$$179.70 \text{ Bimestre} \times 2 = 359.40 \text{ Meses}$$

$$359.40 \text{ meses} / 12 \text{ meses} = \mathbf{29.95 \text{ años.}}$$

9.5.1. Conclusión:

Como resultado tenemos que en 30 años tendremos nuestro retorno de nuestro proyecto, aunque este tiempo puede ser menor ya que abra ocasiones en las que nosotros demos más energía de la que gastamos y esto sea una “ganancia para nosotros. Los elementos considerados tienen una garantía de 12 años y se les

tiene que dar mantenimiento, por lo que en este caso podemos decir que tenemos un proyecto con una viabilidad muy baja ya que el retorno es muy largo, aunque se pueden buscar otras soluciones para mejorar los precios, o solo tener una pequeña parte de estos elementos que nos apoyen con el costo que tenemos en nuestro recibo de luz.

10. Plataforma de cálculo de B/C en adquisición de paneles solares.

Muchas personas dudan de obtener un beneficio al realizar una inversión al comprar paneles solares para sus domicilios, este punto es muy cierto y muy real por que como bien se sabe existen lugares que no son aprovechados en su totalidad para la utilización de paneles solares como mencionaremos más adelante, y en caso contrario también existen lugares que no tiene una ubicación adecuada para la utilización de paneles solares, por lo que hablaremos sobre una herramienta que nos ayudara a resolver nuestras dudas sobre este punto.

Para ello desarrollaremos una plataforma basada en la herramienta llamada Project Sunroof de Google. En esta plataforma podremos consultar la zona de nuestra vivienda o el lugar donde se desea tener celdas solares, la plataforma mostrara la cantidad de energía solar que recibe esta zona en un año, la cantidad de energía eléctrica que se podría generar y el ahorro que podemos obtener al realizar la adquisición de los paneles solares, así haciendo un cálculo de lo que se obtiene y se ahorra.

Debido al tamaño de nuestra investigación y los tiempos para realizarla, no podremos llegar a tal magnitud como la que tiene este proyecto, sin embargo, con el ejercicio ya ejecutado podremos hacer una hoja de cálculo que nos dé de manera directa los datos que sacamos en los puntos anteriores. Para esto programaremos todas las fórmulas ya utilizadas, para posteriormente utilizarlas en un programa o página web como se había mencionado anteriormente. Para darle más presentación y sea una hoja de cálculo más digerible colocaremos pequeñas preguntas que harán que sea más fácil de entender nuestro “programa”. Al insertar todos estos elementos nos queda una hoja de cálculo de la siguiente manera:

Rellene las celdas de color verde

¿Qué periodo comprende tu recibo de luz CFE?

Fecha inicial: dd/mm/aa
 Fecha final: dd/mm/aa
 Días pagados:

¿Cuánta energía total gastaste en este período? KWH 

Tu energía promedio diaria es de KWH

¿Cuál es el pago que realizaste para este período? pesos (MXN) 

Ilustración 31 Hoja de calculo

Como podemos ver esta sería la estructura de nuestra hoja de cálculo que sería la base de nuestra plataforma para el cálculo de nuestros proyectos sustentables a base de paneles solares, el cual tratamos de hacer de la manera más amigable y fácil de rellenar para que cualquier persona pueda utilizarla.

Podemos observar que nos indica que rellenemos las celdas de color verde, en las cuales se indica el periodo y los Kwh que se gastaron en este periodo. Así arrojando los primeros resultados que son: la energía promedio diaria y los días que corresponden a este periodo.

Ahora podemos sacar una segunda parte que sería nuestros resultados de los cálculos realizados para obtener el número de paneles, y potencia del inversor.

RESULTADOS				
CONCEPTO		CANTIDAD	CAPACIDAD	UNIDAD
Energía promedio/ Día		45.30	N/A	KWH
Paneles Solares		26.00	360.00	Watts
Bateria	48 Volts	1.00	1,179.73	Ah
Inversor		1.00	45,301.59	Watts

COSTO PROYECTO			
Elemento	P.U.	Cantidad	Total
Panel solar	2,661.00	26.00	69,186.00
Inversor	25,568.00	1.00	61,708.91
Bateria	8,464.00	1.00	8,464.00
Estructura	625.00	26.00	16,250.00
Instalación	10%	1.00	15,560.89
COSTO TOTAL			171,169.80

ESPACIO NECESARIO		PERIODO DE RETORNO	
52	M2	14	AÑOS

Ilustración 32 Resultados de nuestra hoja de calculo

Como nos podemos dar cuenta los resultados son los mismos que obtuvimos en el capítulo 7, ahora que se tiene esta primera parte podemos obtener rápidamente los resultados obtenidos en el ejercicio anterior y así probar con diferentes ejemplos; para comprobar nuestra hipótesis la cual decía que se puede tener un proyecto de celdas fotovoltaicas y tener un retorno en unos pocos años el cual nos sería redituable y nos dará beneficios económicos además de bajar la producción de contaminantes para el ambiente.

10.1. Ejemplo con mayor consumo eléctrico

Ahora que ya tenemos nuestra hoja de cálculo podemos fácilmente agregar un nuevo ejemplo ya que nuestra hoja de cálculo tiene todos los datos y rápidamente nos podrá dar los datos que buscamos, para ellos buscaremos un nuevo consumo con un recibo de luz de CFE nuevo, en el cual se tenga un consumo mucho mayor de electricidad para poder ver otro comportamiento de nuestra metodología y nuestra proyección de factibilidad del proyecto para así saber si es que puede localizarse un proyecto con un costo beneficio positivo o mejor del encontrado en

el ejemplo anterior ya que como pudimos observar este, no fue del todo favorable ya que el retorno de nuestra inversión es muy lejano, con estos buscamos tener un retorno mayor y un resultado positivo.

Para este ejemplo utilizaremos el siguiente recibo de luz:



Ilustración 33 Segundo ejemplo, recibo de luz CFE

Procedemos a realizar los mismos pasos que en nuestro ejemplo anterior, en el cual ingresamos la fecha de nuestro recibo de luz eléctrica y nuestro consumo que tuvimos estos días, para lograr tener un consumo diario, el cual queda de la siguiente forma:

Rellene las celdas de color verde

¿Qué periodo comprende tu recibo de luz CFE?

Fecha inicial: **18/09/2018** dd/mm/aa
 Fecha final: **20/11/2018** dd/mm/aa
 Dias pagados: **63**

¿Cuánta energía total gastate en este período? 

1,427.00 KWH

Tu energía promedio diaria es de **22.65** KWH

¿Cuál es el pago que realizaste para este período? 

3869 pesos (MXN)

Ilustración 34 Segundo ejemplo de nuestra hoja de calculo

Como podemos observar tanto en el recibo de luz como en la imagen que nos arroja nuestra hoja de cálculo, se está presentando un consumo mucho mayor ya que en el mismo tiempo (dos meses aproximadamente) se está consumiendo 1427Kwh por ende el pago del recibo de luz sube sustancialmente, siendo de 3,869.00 pesos mexicanos, por lo que el gasto de esta vivienda representa un importe muy considerable. A continuación, se muestran los resultados que arrojan nuestra hoja de cálculo y el costo que esta genera. Cabe aclarar que este costo se consultó al momento de tener los primeros resultados ya que, para poder tener un costo aproximado directamente de nuestra hoja de cálculo, es necesario descargar toda una base de datos de precios y se necesita de muchas memorias y muchos proveedores dispuestos a proveernos de estos datos, que podrías ser considerados para una segunda parte de este trabajo de investigación.

RESULTADOS				
CONCEPTO		CANTIDAD	CAPACIDAD	UNIDAD
Energía promedio/ Día		22.65	N/A	KWH
Paneles Solares		13.00	360.00	Watts
Bateria	48 Volts	1.00	589.86	Ah
Inversor		1.00	22,650.79	Watts

COSTO PROYECTO			
Elemento	P.U.	Cantidad	Total
Panel solar	2,661.00	13.00	34,593.00
Inversor	25,568.00	1.00	61,708.91
Bateria	8,464.00	1.00	8,464.00
Estructura	625.00	13.00	8,125.00
Instalación	10%	1.00	11,289.09
COSTO TOTAL			124,180.00

ESPACIO NECESARIO		PERIODO DE RETORNO	
26	M2	5	AÑOS

Ilustración 35 Hoja de cálculo, resultado segundo ejemplo

Ahora podemos ver un panorama muy distinto al ejemplo anterior ya que en este escenario se necesita un número mucho mayor de paneles solares, además de que el inversor y las baterías son de una capacidad mucho mayor por lo cual el costo de nuestro proyecto sube considerablemente hasta 124,180.00 pesos mexicanos, sin embargo nos arroja un periodo de retorno mucho menos, lo que es algo muy bueno ya que es lo que se estaba buscando y lo que se necesita para tener una certeza de que nuestro proyecto puede ejecutarse. Tendríamos que comprobar si lograremos tener el espacio necesario y la ubicación adecuada para nuestros paneles solares.

Conclusión:

Nuestra hoja de cálculo nos arrojó el resultado esperado y podemos concluir que no es un proyecto muy viable cuando tenemos gastos de recibo tan pequeños como en el primer ejemplo ya que nuestro retorno de inversión se va a muchos años y será difícil el ver los resultados, sin embargo en el segundo ejemplo

logramos ver que en tan solo 5 años la inversión inicial que nosotros destinamos a nuestro proyecto es devuelta y en los siguientes años subsecuentes empezaremos a obtener “ganancias” del proyecto ejecuta y será muy factible que nosotros lo pongamos en marcha.

Esto quiere decir que nuestra hipotesis se comprobó con el segundo ejemplo, pero en el primer ejemplo no se cumplió por lo cual podemos concluir que esto aplica solo para gastos en el consumo de electricidad elevado, por lo que es conveniente ejecutar el proyecto cuando se tiene gastos de electricidad mayores a 2,500 aproximadamente.

11. Beneficios de utilizar sistemas fotovoltaicos

11.1. Aspectos ambientales

En muchos casos, se tiene que decidir entre una planta eléctrica diésel o un sistema fotovoltaico para electrificar una vivienda rural. Si se comparan ambas alternativas, es posible obtener un panorama ilustrativo de los efectos positivos y negativos de cada una de ellas, tanto del punto de vista económico, como del punto de vista ambiental.

El costo inicial de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico de la misma capacidad El tiempo de instalación de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico, aunque para las dos alternativas el tiempo es corto y las dificultades de transporte son básicamente las mismas. Además, a nivel local generalmente existen varios distribuidores de plantas eléctricas de combustible.

El abastecimiento periódico de combustible para una planta eléctrica ubicada en un lugar remoto es un problema grande. Las dificultades para transportar el combustible son permanentes. El almacenamiento de combustible, cuando existe, se hace en condiciones peligrosas para la seguridad de las personas y bienes materiales. Los sistemas fotovoltaicos, en cambio, no requieren de ningún suministro de combustible. Los costos, riesgos y peligros relacionados con el uso de combustibles fósiles desaparecen.

Las plantas eléctricas producen ruido cuando operan. Inicialmente esta contaminación sonora suele ser tolerada por el entusiasmo de disponer de energía eléctrica; sin embargo, pronto ésta se hace intolerable, especialmente para las personas de la tercera edad, enfermos y maestros de escuela. Los sistemas fotovoltaicos no producen ningún sonido molesto cuando operan debido a que no poseen partes y movimientos mecánicos por lo que no ocasionan ningún tipo de contaminación sonora.

Las plantas eléctricas producen humo cuando operan. Si la planta no ha recibido el mantenimiento adecuado, la cantidad de humo producido es considerable y dañina para las personas próximas a ésta. Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas. La producción de hidrógeno no es un problema si las baterías se encuentran en una habitación ventilada; en caso contrario, se puede producir una explosión debido a la concentración alta de este gas.

El derrame de la solución de ácido sulfúrico de las baterías representa un peligro para la piel de las personas y para el suelo. En la mayoría de los casos, esta contaminación se produce cuando se abandona irresponsablemente a la intemperie baterías que han cumplido su vida útil. Esta práctica es bastante frecuente en el área rural debido a la falta de programas de educación ambiental y a la falta de recursos para el retiro ecológicamente controlado de las baterías inservibles.

Se puede decir que los sistemas fotovoltaicos poseen impactos ambientales menores que las plantas eléctricas a base de combustibles fósiles. Ellos son una solución amigable con la naturaleza. Sin embargo, el mal uso y manejo de esta tecnología sí puede tener efectos dañinos al medio ambiente. Se sugieren algunas recomendaciones que se deben atender para evitar esto:

- Los sistemas fotovoltaicos deben ser instalados correctamente para evitar su fallo prematuro, de lo contrario ocasionará el abandono de los equipos y su posible deterioro. No tiene sentido invertir en equipo de alta tecnología si éste no será utilizado durante muchos años.

- Debe existir un programa eficaz de retiro y reciclaje de baterías: las baterías fotovoltaicas abandonadas a la intemperie después de cumplir su vida útil ocasionarán contaminación, por lo que es necesario elaborar un programa para el desecho de las baterías.
- Las baterías deben estar instaladas en una habitación especialmente destinada a este propósito: sistemas fotovoltaicos con baterías instaladas en habitaciones utilizadas por personas podrían ocasionar riesgos a la salud y a la seguridad de las personas si no están instaladas en forma segura.¹⁸

12. Conclusiones:

Los paneles solares son una fuente de energía alternativa que aprovecha los rayos del sol y son cada vez más populares en nuestro país. De hecho, México se considera como uno de los países con más futuro en el aprovechamiento de la energía del sol por los altos niveles de irradiación que recibe la mayor parte del país.

Puntos importantes determinados en nuestra tesis

- Los paneles solares producen energía limpia, segura y a un bajo costo, por lo que no dañan el planeta y benefician a la economía familiar.
- Para los negocios, la implementación de paneles solares trae consigo además beneficios fiscales ya que su costo es 100% deducible de impuestos.
- En una casa de alto consumo de energía eléctrica (a partir de \$2,000 pesos bimestrales), la inversión en paneles solares se recupera de 5 a 7 años y en un negocio de 6 a 8 años aproximadamente.
- Si implementas los paneles solares y además utilizas la electricidad de la red oficial sólo pagas la tarifa mínima.
- Los paneles solares son fáciles de instalar y el único mantenimiento que necesitan es limpiarlos dos veces al año.

¹⁸Solar Fotovoltaica, Manuales sobre energía renovable

- Cada panel mide alrededor de 1m x 1.7m por lo que para su instalación requiere de un área libre de al menos dos metros cuadrados por panel.
- Los paneles están hechos de silicio, vidrio templado y aluminio, no dañan las construcciones y son resistentes a todos los climas, incluso al granizo y huracanes.
- El costo de un panel de energía solar fotovoltaica, es de alrededor de \$10,000 pesos incluyendo la instalación.
- Para una casa que gasta bimestralmente \$500 en energía eléctrica se necesitan dos paneles solares y, aunque se pueden instalar casi en cualquier lugar, requieren de una superficie de 3.4 metros cuadrados. Para dar abasto a una casa que consume \$2,000 pesos bimestrales de luz se requieren de ocho paneles aproximadamente y 13.6 metros cuadrados para su instalación.
- Para mantener el refrigerador encendido todo el día se utiliza la energía de 1.5 paneles aproximadamente, como dato curioso.
- Los electrodomésticos que consumen más energía son el aire acondicionado, el calentador eléctrico y la secadora de ropa.
- Entonces para un consumo de 2000w se requieren 8 paneles y recuperas la inversión a 2 o 3 años. Requieren 16 m²

Con esto podemos dejar en claro nuestra hipótesis en la que definitivamente es muy atractiva la idea de pensar en producir tu propia energía eléctrica y aunque requiere de una fuerte inversión inicial, es una inversión que se recupera en unos cuantos años y que dará beneficios por mucho más tiempo, el único punto a aclarar es que para dar el paso definitivo a la inversión de sistemas de energía voltaica debemos de ver cuál es nuestro consumo de electricidad.

Ahora podemos concluir de acuerdo a nuestros dos ejemplos y nuestra hoja de cálculo que realizar esta inversión actualmente sólo es rentable para los hogares, o bien, negocios que gastan más de \$2,000 pesos aproximadamente en electricidad al bimestre.

También es muy importante recalcar que debes tener espacio para su instalación, ya que muchas veces si vives en pisos intermedios de edificios de departamentos

te será casi imposible lograrlo, por lo que no es recomendable llevar a cabo este proyecto.

Al igual que debes tomar en cuenta que los paneles se instalan en azoteas principalmente, y donde no haya sombra ni obstáculos hacia el sur, que es la dirección en la que se orientan.

Sin embargo, debes asegurarte de que si quieres instalar paneles solares en casa esto no ponga en riesgo las finanzas familiares.

Analiza tu situación particular, compara proveedores y toma en cuenta que también hay empresas que ofrecen paneles solares bajo el esquema de arrendamiento. Si consideras que es una inversión que vale la pena y que justifica incluso el uso de préstamos personales para llevarla a cabo o puedes considerar otros esquemas como créditos o pagos a mensualidades que facilitan la adquisición y transforman esta inversión inicial fuerte en pequeños pagos mensuales sostenibles que “se pagan solos” ya que el ahorro en el pago de bimestral se destina al pago de nuestro sistema fotovoltaico.

Se demostró que nuestra hipótesis es cierta, ya que se puede hacer una inversión inicial fuerte y esta se puede recuperar, sin embargo, hay factores que influyen ya que esta hipótesis no se cumple en todas las zonas de la República Mexicana, además no siempre es redituable ya que en hogares que se tiene un consumo bajo es muy tardada la reintegración de nuestra inversión, además de que el espacio disponible para la colocación de nuestro sistema juega otro punto muy importante, ya que sin él no nos será posible llevar a cabo nuestro proyecto.

Nuestro proyecto de investigación adquirió un mayor valor de utilidad ya que al darnos cuenta de que no cualquier hogar o edificación cumple con nuestra hipótesis, podremos decir que el conocimiento de esta tesis nos ayudara a saber si es recomendable utilizar celdas solares u otro sistema de aprovechamiento de luz solar en nuestros hogares o predios, ya que utilizando adecuadamente la información presentada en esta investigación nos ayudara a tomar una decisión acertada y lograr tener un beneficio máximo.

Se necesita continuar con la investigación de las zonas de aprovechamiento de luz solar, ya que estas pueden tener pequeñas variaciones a lo largo del tiempo, esto debido a variaciones de los precios de los equipos necesarios para nuestro sistema fotovoltaico.

La actualización de información siempre es importante ya que el costo de los paneles solares o de la energía eléctrica pueden variar y se tiene un pronóstico de que los paneles solares bajaran aún más su precio por lo que estas modificaciones pueden varias en nuestro trabajo de investigación.

Así mismo se seguirá actualizando y trabajando nuestra hoja de cálculo para ponerla a disposición de todos y que de resultados aún más precisos y más fácil y eficaz su utilización con versiones cada vez mejores.

Esperamos poder continuar con este trabajo de investigación ya que el planeta necesita de energías sustentables de dejen de dañar el ecosistema, y las energías fotovoltaicas son la energía del futuro, tanto como medida de inversión y negocios como para un apoyo personal y profesional para el medio ambiente.

13. Bibliografía

Diseño de una red fotovoltaica, conectada a red de 15MWn en Longreach, Australia

Solar Energy Perspectives: Executive Summary» (PDF). International Energy Agency. 2011. Archivado desde el original el 3 de diciembre de 2011.

Teske, Sven. La energía solar puede dar electricidad limpia a más de 4.000 millones de personas para 2030. Greenpeace España.

La fotovoltaica ya se codea en costes con la nuclear. El periódico de la energía.

Natural Forcing of the Climate System. Intergovernmental Panel on Climate Change.

The Economist - the rise of solar energy.

Solar Fotovoltaica, Manuales sobre energía renovable

Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira

Butti y Perlin, Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology

14. Anexos

Forma de Impresión hoja de cálculo de Excel

	Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería Maestría en Construcción Ing. Juan Manuel Anaya Bermúdez Calculo de sistemas fotovoltaicos	
<p>Rellene las celdas de color verde</p> <p>¿Qué periodo comprende tu recibo de luz CFE?</p> <p>Fecha inicial: 18/09/2018 dd/mm/aa Fecha final: 20/11/2018 dd/mm/aa Dias pagados: 63</p> <p>¿Cuánta energía total gastaste en este período?</p> <p>1,427.00 KWH ←</p> <p>Tu energía promedio diaria es de 22.65 KWH</p> <p>¿Cuál es el pago que realizaste para este período?</p> <p>3869 pesos (MXN) ←</p>		

RESULTADOS			
CONCEPTO	CANTIDAD	CAPACIDAD	UNIDAD
Energía promedio/ Día	22.65	N/A	KWH
Paneles Solares	13.00	360.00	Watts
Bateria 48 Volts	1.00	589.86	Ah
Inversor	1.00	22,650.79	Watts

COSTO PROYECTO			
Elemento	P.U.	Cantidad	Total
Panel solar	2,661.00	13.00	34,593.00
Inversor	25,568.00	1.00	61,708.91
Bateria	8,464.00	1.00	8,464.00
Instalación	10%	1.00	10,476.59
COSTO TOTAL			115,242.50

ESPACIO NECESARIO		PERIODO DE RETORNO	
26	M2	5	AÑOS