

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS



Generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación.

Por:

SANDRA ARELY GÁMEZ RODRÍGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México
Febrero 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación

Por:

SANDRA ARELY GÁMEZ RODRÍGUEZ

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por:




DR. ANSELMO GONZÁLEZ TORRES
Presidente




DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
Vocal



M.C. BLANCA PATRICIA PEÑA REVUELTA
Vocal



ING. JOEL LIMONES AVITIA
Vocal Suplente



M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación

Por:

SANDRA ARELY GÁMEZ RODRÍGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:

DR. ANSELMO GONZALEZ TORRES
Asesor Principal

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
Coasesor

M.C. BLANCA PATRICIA PEÑA REVUELTA
Coasesor

ING. JOEL LIMONES AVITIA
Coasesor

M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
FEBRERO 2019



AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, por darme una formación como profesionalista.

Al Doctor: Anselmo González Torres, por prestarme el material y ayudarme a realizar mi tesis.

A mis Asesores, MC. Blanca Patricia Peña Revuelta, Ing. Joel Limones Avitia y al Dr. José Luis Reyes Carrillo, por ayudarme en la realización de mi tesis de titulación

A todos los Profesores del Departamento de Biología, MC. María Rivera, Dr. José Luis Ríos, Dr. Miguel Ángel Urbina. Dra. Natalia Belem ortega, Dr. Héctor Madinaveitia, Dr. José Luis Reyes Carrillo y al Ing. Joel Limones Avitia.

A la Sra. Cecilia, secretaria del Departamento de Biología, por brindarme su amistad y darme apoyo.

A todos ellos por brindarme su conocimiento, su amistad y consejos, muchas gracias.

DEDICATORIAS

A mis padres, Fernando Gámez Pacheco y Sandra Luz Rodríguez Rivera por darme la vida, por tenerme confianza y por brindarme su apoyo incondicional para obtener un logro tan grande como es el convertirme en un profesionalista.

A mis hermanos, Brenda Guadalupe Gámez Rodríguez, Fernando Gámez Rodríguez y Luz Karime Gámez Rodríguez, a quienes quiero mucho.

A mi amiga, Laura Peña Revuelta por ayudarme y apoyarme en toda situación.

A toda mi familia, gracias a todos por sus consejos, toda su ayuda y su apoyo, mil gracias a todos los que estuvieron y siguen estando conmigo.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE	iii
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Antecedentes (Historia)	6
2.2. El sol	12
2.3. Aprovechamiento de la luz solar	13
2.4. El sol como principal fuente de energía.	13
2.5. La energía solar	14
2.6. La irradiancia e irradiación	14
2.7. Radiación solar	14
2.8. Efecto fotovoltaico	15
2.9. Energía	16
2.10. Evolución histórica de la energía	16
2.11. Clasificación de las energías	19
2.12. Energías renovables y no renovables	19
2.13. Clasificación de las energías no renovables	20
2.14. Energías renovables	21
2.15. Clasificación de las energías renovables.	22
2.16. Comparativo de ventajas de energías	25
2.17. Energía solar	27
2.18. Cómo funciona la energía solar	27
2.19. Como medir la radiación	29
2.20. Otros tipos de energía solar	29
2.21. Ventajas de usar la energía solar	30
2.22. Energía solar térmica	31
2.23. Que es la energía solar térmica	32
2.24. Cómo funciona la energía solar térmica	32
2.25. Aplicaciones de la energía solar térmica	33
2.26. Energía solar fotovoltaica	33
2.26.1. Que es la energía solar fotovoltaica	33
2.26.2. Cómo funciona la energía solar fotovoltaica	34
2.26.3. Ventajas de la energía solar fotovoltaica.	35
2.26.4. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica	36
2.27. Instalaciones conectadas a la red eléctrica	37
2.28. Ventajas respecto consumo de la red	37
2.29. Instalaciones aisladas de la red eléctrica	37
2.30. Elementos componentes de una instalación fotovoltaica	38
2.30.1. Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red	38
2.30.2. Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica	39
2.31. Cuanto más sol hay, mayor rendimiento?	40
2.32. Como se mide la energía solar fotovoltaica	41

2.33.	Autoconsumo fotovoltaico	42
2.34.	Sistema de suministro eléctrico con balance neto	42
2.35.	Barreras de la energía fotovoltaica	43
2.36.	Celdas fotovoltaicas	44
2.37.	La célula solar	44
2.38.	Tipos de celdas solares	45
2.39.	Fabricación de celdas solares	48
2.40.	Funcionamiento de la célula solar	51
2.41.	Paneles o placas fotovoltaicas	52
2.42.	Elementos de un panel solar	52
2.43.	Elementos de una placa solar fotovoltaica	53
2.44.	Componentes de un panel solar fotovoltaico	53
2.45.	Tipos de paneles	55
2.46.	Mantenimiento de la instalación	55
2.47.	Plan de mantenimiento preventivo	56
2.48.	Montaje de los paneles solares	57
2.49.	Reciclaje de paneles	57
2.50.	Medio ambiente	58
	2.50.1. El efecto invernadero	58
	2.50.2. El cambio climático	59
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	63
3.1.	Datos generales	63
3.2.	Clima	64
3.3.	Consumo energético	65
	3.3.1. Cargos por energía consumida	65
3.4.	Materiales y equipo	65
	3.4.1. Materiales costos	67
3.5.	Materiales	71
3.6.	Descripción del sistema	71
3.7.	Procedimiento	71
3.8.	Proceso experimental	74
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	75
4.1.	Tiempo de recarga de batería	75
4.2.	Duración de batería cargada en funcionamiento	76
4.3.	Cálculos costo electricidad	79
5.	CONCLUSIONES	81
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Ventajas de energías	25
Cuadro 2. Materiales y costos	65
Cuadro 3. Muestra 1 Tiempo de recarga de batería	75
Cuadro 4. Muestra 2 Tiempo de recarga de batería	75
Cuadro 5. Muestra 3 Tiempo de recarga de batería	75
Cuadro 6. Muestra 4 Tiempo de recarga de batería	75
Cuadro 7. Muestra 5 Tiempo de recarga de batería	76
Cuadro 8. Muestra 1 Duración de batería cargada en funcionamiento	76
Cuadro 9. Muestra 2 Duración de batería cargada en funcionamiento	77
Cuadro 10. Muestra 3 Duración de batería cargada en funcionamiento	77
Cuadro 11. Muestra 4 Duración de batería cargada en funcionamiento	77
Cuadro 12. Muestra 5 Duración de batería cargada en funcionamiento	78
Cuadro 13. Datos de muestras.	79
Cuadro 14. Costo electricidad.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red (Rodríguez de Luis, 2019)	39
Figura 2. Fórmula para determinar la cantidad de energía que almacena un panel (Olvera Miranda y Montalvo Yagual, 2015)	41
Figura 3. Tipos de células y características (Rodríguez de Luis, 2019)	47
Figura 4. Mapa de Torreón, Coahuila (INEGI, 2019).	63
Figura 5. Mapa de Coahuila sus climas (Google, 2010).	64
Figura 6. Fotografía de panel solar.	67
Figura 7. Fotografía de batería 12 V.	67
Figura 8. Fotografía de inversor.	68
Figura 9. Fotografía de inversor toma frontal.	68
Figura 10. Fotografía de multímetro.	69
Figura 11. Fotografía de regulador.	69
Figura 12. Fotografía de lámpara led.	70
Figura 13. Fotografía de lámpara led de cerca.	70
Figura 14. Fotografía de especificaciones de lámpara led	71
Figura 15. Fotografía de sistema funcionando	73

RESUMEN

La generación de energía renovable favorece al desarrollo industrial y representa el compromiso que se tiene con el ambiente, reduciendo o reemplazando el uso de la energía convencional, por lo tanto el objetivo de este trabajo fue la generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación mediante un sistema fotovoltaico que funciona autónomamente es decir sin necesidad de estar conectados a la red eléctrica, la energía generada por el panel solar se almacena en un acumulador y esta se utiliza con un conversor para poder alimentar aparatos que funcionan con corriente alterna. Con un uso eficiente de la tecnología y presupuesto para material, es posible generar más energía y así ahorrar un monto significativo económicamente hablando. Es posible la generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación, el sistema de generación de energía solar no fue económico en este momento por el costo actual de los equipos de generación fotovoltaica y una limitante para la generación de energía con esta modalidad es la adquisición de paneles de grandes dimensiones que restringe su uso a pequeña escala.

Palabras clave: Fotovoltaico, Célula solar, Desarrollo sostenible, Energía alternativa

1. INTRODUCCIÓN

La energía es un aspecto fundamental en la vida de las personas, y es esencial no sólo para los individuos sino también para varios sectores, incluyendo la agricultura, el transporte, así como para las actividades industriales que son vitales para el crecimiento social y económico de todos los países (Muhammad-Sukki *et al.*, 2012).

La energía renovable es la energía que se genera a partir de recursos naturales, como el viento, el sol, la lluvia, las mareas y el calor geotérmico (Long y Michael Yit, 2012).

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más ampliamente adoptada que puede ser utilizada en diversas aplicaciones tales como, la gestión térmica mediante colectores térmicos o la generación de electricidad a través de células solares especiales, también conocidas como células fotovoltaicas (Adham *et al.*, 2015).

La radiación solar, junto con los recursos solares secundarios, tales como el viento y la energía de las olas, la energía hidroeléctrica y la biomasa, representa la mayor parte de la energía renovable disponible en la tierra (ELSEVIER., 2013)

La mayor ventaja de la energía solar en comparación con otras formas de energía es que es amigable con el medio ambiente y disponible en abundancia y puede realizarse sin ningún tipo de contaminación ambiental (Tyagi *et al.*, 2012)

La generación de energía renovable favorece al desarrollo industrial y representa el compromiso que se tiene con el ambiente, reduciendo o reemplazando el uso de la energía convencional, por lo tanto el objetivo de este trabajo fue la generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La energía se considera un agente primordial en la generación de riqueza y un factor importante en el desarrollo económico de cualquier país y el nivel de vida de las personas. La importancia de la energía en el desarrollo económico es reconocida universalmente y datos históricos pueden verificar que existe una fuerte relación entre la disponibilidad de la energía y la actividad económica (Tyagi *et al.*, 2012). La energía eléctrica es un factor determinante en el progreso de los pueblos, porque mejora las técnicas educativas, promueve el desarrollo de los sistemas productivos y estimula el intercambio social entre los pobladores (Vélez Sarmiento y Figueroa Quimbayo, 2015).

La demanda de energía del mundo ah aumentando significativamente debido al crecimiento de la población y la evolución industrial. Es importante tener en cuenta que la población se ha incrementado en dos mil millones sólo en una generación y contribución importante ha sido dada por los países en desarrollo (Kannan y Vakeesan, 2016).

La demanda de electricidad está creciendo con la tasa más alta de toda la energía consumida en el mundo. La disminución de los recursos de combustibles fósiles y la tremenda velocidad de su consumo a la batalla de la revolución industrial que prevalece nos diverge en el pico de consumo de combustibles fósiles (Verma *et al.*, 2016).

En muchas partes del mundo se está trabajando para hacer frente a los problemas importantes relacionados con la generación de electricidad por los métodos convencionales, incluyendo principalmente el calentamiento global, la escasez de hidrocarburos, el incremento en las tarifas eléctricas en muchos lugares, la volatilidad del precio del gas natural, la disminución de la calidad del aire y la salud pública, la amenaza inminente de bajas tensiones o de apagones, el envejecimiento de la infraestructura y la congestión de la red, la inseguridad y la ineficiencia energética (Díaz Romero, 2015).

Con la aparición de los recursos energéticos fósiles el uso de la energía se convirtió en algo muy fácil, más eficiente y barato. Esto ocasiono un consumo indiscriminado

de este tipo de energía hasta ser insostenibles que ha ocasionado que todos los países más o menos desarrollados, realicen continuos esfuerzos en un intento de mejorar la eficiencia de la utilización de la energía y, en definitiva, reducir el consumo de recursos fósiles (Rodríguez de Luis, 2019).

Durante el siglo pasado los combustibles fósiles nos han proporcionado la mayor parte de nuestras necesidades de energía debido a que estos son mucho más baratos y más convenientes que la energía procedente de fuentes alternativas, y hasta hace poco la contaminación ambiental ha sido de poco interés (Tyagi *et al.*, 2012). Debido al rápido consumo de recursos energéticos convencionales como el petróleo crudo, el carbón y el gas natural, muchas iniciativas se tomaron en todo el mundo dirigidas hacia el uso eficiente o reemplazo de estos recursos. Varias fuentes de energía renovables se han introducido como alternativas a las tradicionales fuentes para proteger los recursos ambientales y mejorar la calidad de vida (Luthra *et al.*, 2015).

La energía eléctrica es fundamental para la existencia de toda actividad industrial, ya que esta es la que mueve parte de toda la maquinaria por lo cual es muy importante buscar nuevas fuentes de energía que sean amigables con el ambiente (Florián Martínez, 2015).

Diversificando la matriz energética, frenando la deforestación, reduciendo nuestra dependencia al petróleo, hacemos más competitiva y sostenible la economía mundial; el objetivo es que, con tecnologías amigables con el medio ambiente, también conocidas como tecnologías limpias, se puedan atender las necesidades y el bienestar de la población, tendiendo a un desarrollo equilibrado y sostenible (Bitar S y Chamas B, 2017).

El concepto de desarrollo sostenible fue acuñado por el Informe Brundtland, en 1987, como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. En definitiva, el desarrollo sostenible es aquel que trata de garantizar tres objetivos principales de manera simultánea: el crecimiento económico, el progreso social y el uso racional de los recursos (Blanco Sardinero, 2009).

En la actualidad las energías renovables pueden hacer frente a la demanda creciente y sin perjuicio de las energías fósiles desde el punto de vista económico. Las energías renovables pueden sustituir a las convencionales, no solo por el agotamiento de los recursos fósiles sino también erradicando problemas medio ambientales (Rodríguez de Luis, 2019).

Las tecnologías de energía renovable son un enfoque para satisfacer las necesidades actuales con respecto a la seguridad energética, el medio ambiente y el cambio climático en países desarrollados y en desarrollo. Entre estos enfoques de energía limpia, las tecnologías solares continúan creciendo en aplicaciones residenciales, comerciales, agrícolas e industriales (Sarver *et al.*, 2013).

Las energías renovables solucionarán muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, los residuos radiactivos, las lluvias ácidas y la contaminación atmosférica. Pero para ello hace falta voluntad política y dinero (Santamarta, 2004). Se espera que las fuentes renovables de energía aumenten significativamente a medida que los seres humanos tratan de evitar los efectos potencialmente catastróficos del cambio ambiental global (Phillips, 2013).

Dentro de las energías renovables, la energía solar fotovoltaica es hoy en día y sin lugar a dudas, una forma limpia y fiable de producción de energía eléctrica (Rodríguez de Luis, 2019).

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más ampliamente adoptada que puede ser utilizada en diversas aplicaciones tales como, la gestión térmica mediante colectores térmicos o la generación de electricidad a través de células solares especiales, también conocidas como células fotovoltaicas (Adham *et al.*, 2015). Esta energía utiliza equipo de fácil instalación y que tiene una vida útil prolongada, que además se puede integrar perfectamente en el ambiente urbano (MadridSolar, 2006).

La tecnología fotovoltaica se ha adoptado en muchas regiones de todo el mundo, la energía solar es ubicua y abundante en la superficie de la tierra (Adham *et al.*, 2015).

La importancia de la energía fotovoltaica fue una vez un tema cuestionable cuando el combustible fósil era visto como una fuente inagotable de energía (Long y Michael Yit, 2012).

La mayor ventaja de la energía solar en comparación con otras formas de energía es que es respetuosa del medio ambiente y disponible en abundancia y puede producirse sin ningún tipo de contaminación ambiental (Tyagi *et al.*, 2012).

El problema que radica es que el flujo de energía no es tan alto por eso la obtención de la misma la hace relativamente costosa y eso frena a el impulso por parte del ser humano de explotarla. Sin embargo hay un efecto que hace que esta energía se propague y es que es de tipo descentralizado o distribuido de manera que, esto permite que a pesar de que el costo de la energía solar es aproximadamente cuatro veces el costo de la energía convencional, las empresas privadas o públicas decidan invertir puesto que, las pérdidas son considerablemente menores a la de un sistema centralizado (Olvera Miranda y Montalvo Yagual, 2015).

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados (Asociación de Empresas de Energías Renovables, 2019). La tecnología actual permite que prácticamente cualquier edificio pueda convertirse en una pequeña central generadora de electricidad (MadridSolar, 2006).

Los edificios sostenibles con sistemas de energía renovable están tratando de operar de manera independiente y sin consumo de recursos convencionales, esto reduce el impacto en el medio ambiente durante todo el ciclo de vida de los edificios (Long y Michael Yit, 2012).

Para la generación de electricidad, la energía fotovoltaica y la concentración de energía solar térmica son las principales tecnologías utilizadas para convertir la radiación abundante del sol. El diseño de estos sistemas de energía solar abarca una gran cantidad de ciencia e ingeniería, así como enfoques innovadores para maximizar el rendimiento del sistema y con un menor costo (Sarver *et al.*, 2013).

Para que las células fotovoltaicas obtengan una amplia aceptación como fuente de energía limpia y renovable, el costo por vatio de energía solar debe reducirse.

Actualmente, la principal barrera que evita a la energía fotovoltaica usar la tecnología para proporcionar una gran fracción de electricidad es el alto costo de fabricación silicio cristalino (Coakley y McGehee, 2004).

2.1. Antecedentes (Historia)

El Sol es fundamental para la vida en la Tierra y ha sido venerado por la mayoría de civilizaciones antiguas (López Sánchez, 2016). Los griegos fueron los primeros en usar diseños de casas para aprovechar la luz del sol en forma pasiva, probablemente desde el año 400 A.C. (antes de cristo) (EnergiaSolar.mx, 2019).

La primera referencia histórica al uso de la energía solar data del siglo III A.C. en Grecia, donde se narra que Arquímedes utilizó unos espejos hexagonales de bronce para reflejar los rayos del sol y así destruir la flota romana durante la batalla de Siracusa (López Sánchez, 2016)

Los romanos fueron los primeros en usar vidrio en sus ventanas para atrapar la luz solar en sus viviendas, y estos mismos utilizaron construcciones de cristal (invernaderos) para crear condiciones ambientales idóneas para el crecimiento de plantas exóticas. También promulgaron leyes con tal de penar el bloqueo de la luz a vecinos (López Sánchez, 2016).

Las primeras utilizaciones de la energía solar se pierden en la lejanía de los tiempos, no obstante, por algunas tablillas de arcilla halladas en Mesopotamia, se sabe que hacia el año 2000 A.C. las sacerdotisas encendían el fuego sagrado de los altares mediante espejos curvados de oro pulido (EnergiaSolar.mx, 2019).

Kicher (1601-1680) encendió una pila de leña a distancia utilizando espejos por un procedimiento similar al utilizado por Arquímedes (EnergiaSolar.mx, 2019).

Ehrenfried von Tschirnhaus (1651-1700), que era miembro de la Academia Nacional Francesa de la Ciencia, logró fundir materiales cerámicos mediante la utilización de una lente de 76 cm (centímetros) de diámetro (EnergiaSolar.mx, 2019).

George Louis Leclerc (1707-1788) fabricó un horno solar compuesto por 360 espejos con un foco común e hizo una demostración en los jardines del Palacio de Versalles, encendiendo una pila de leña a 60 m (metros) de distancia (EnergiaSolar.mx, 2019).

El primer colector solar plano fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799), y estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento térmico. Este colector solar se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior (EnergiaSolar.mx, 2019).

Antoine Lavoisier (1743-1794), célebre químico francés descubridor del oxígeno, experimento con lentes de 130 cm de diámetro y fundió el platino, cuyo punto de fusión es de 17600 grados celsius (EnergiaSolar.mx, 2019).

John Herschell, hijo del célebre astrónomo británico William Herschell, descubridor del planeta Urano, utilizó colectores solares de dos cubiertas también para cocinar alimentos, obteniendo en 1837 un prototipo que alcanzaba los 1160 grados Celsius (EnergiaSolar.mx, 2019).

Edmond Becquere, un físico francés, descubrió el efecto fotoeléctrico en 1839 (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1867 el científico suizo Horace de Saussure desarrolló el primer colector solar (EnergiaSolar.mx, 2019).

Más recientemente, hace un poco más de 100 años, el científico francés Auguste Mouchout usó calor de un colector solar para producir vapor y mover un motor, desgraciadamente, los elevados costos impidieron que su invento tuviera un uso comercial (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1873, Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en el selenio (Macancela Zhumi, 2012).

En 1874 se instaló en Las Salinas (Chile) un destilador solar pasivo, consistente en 4700 m² (metros cuadrados) de superficie acristalada que producían 23000 Lts

(litros) de agua dulce al día. Este destilador funcionó durante 40 años hasta que fue traída el agua mediante una tubería desde Antofagasta (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1875, el francés Mouchont realizó un colector cónico de 18.6 m² de área de abertura, destinado a la producción de vapor y que fue presentado en París. Este colector tuvo un accidente como consecuencia de haberse quedado sin agua (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1877, W.G. Adams y R.E. Day, construyen la primera célula fotovoltaica de selenio (Macancela Zhumi, 2012).

Abel Pifre utilizó en la exposición de París del año 1878 un colector doble parabólico para la producción de vapor, con el cual se accionaba una pequeña imprenta (EnergiaSolar.mx, 2019).

El primer colector cilíndrico parabólico fue ideado por el norteamericano John Ericsson en 1883 (EnergiaSolar.mx, 2019).

Alrededor de 1880 se fabricaron las primeras celdas fotovoltaicas de luz visible, hechas de selenio, con una eficiencia de conversión de 1 a 2 por ciento (EnergiaSolar.mx, 2019).

El primer calentador de agua solar fue patentado en 1891 por Clarence Kemp (EnergiaSolar.mx, 2019).

A principios del siglo pasado la utilización de la energía solar tuvo especial interés en Estados Unidos, principalmente en California, donde se hicieron algunos trabajos y estudios en colaboración con astrónomos, construyéndose algunos prototipos de grandes dimensiones. El abaratamiento de los combustibles, como consecuencia de la Primera Guerra Mundial, hecho abajo todos estos trabajos (EnergiaSolar.mx, 2019).

Un ejemplo de los aludidos fue el colector del portugués Himilaya en San Louis (Missisipi) del año 1904, destinado a fundir metales, así como un colector cónico

realizado por el norteamericano Eneas, contemporáneo del anterior (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1913, los también norteamericanos Shuman y Boys instalaron, primero en Filadelfia (USA, United States of América) y luego en Egipto, colectores cilíndricos que producían vapor para el accionamiento mecánico de bombas hidráulicas destinadas a irrigación. El colector de Egipto proporcionaba una potencia de 37 a 45 kW (kilowatt) durante un período de cinco horas (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1921 Albert Einstein gana el Premio Nobel por sus teorías explicativas sobre el efecto fotoeléctrico (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En la década de los años treinta de nuestro siglo se popularizaron en Japón equipos de circulación natural para obtener agua caliente sanitaria con una capacidad de almacenamiento de cien a doscientos litros (EnergiaSolar.mx, 2019).

Después de la Segunda Guerra Mundial este tipo de sistemas se extendió también en Israel, pero debido al bajo precio de los combustibles convencionales, el uso de la energía solar quedó relegado a un segundo plano (EnergiaSolar.mx, 2019).

Para principios de los años cincuenta, se produjo un proceso de producción de cristales de silicio de alta pureza, lo que aceleró el desarrollo de la energía solar (EnergiaSolar.mx, 2019).

El resurgimiento de la energía solar como una disciplina científica se produce en 1953, cuando Farrington Daniels organiza en la Universidad de Wisconsin un Simposio Internacional sobre la utilización de la energía solar, auspiciado por la National Science Foundation de Estados Unidos. Dos años más tarde, en Tucson (Arizona), se celebró otro simposio y se formó la asociación para la aplicación de la energía solar (EnergiaSolar.mx, 2019).

Como consecuencia de estos simposios se creó la revista "Solar Energy", de muy alto nivel científico, que edita la Sociedad Internacional de la Energía Solar con sede en Australia, entidad que sucedió a la asociación para la aplicación de la energía solar (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1954 los laboratorios Bell Telephone desarrollaron celdas fotovoltaicas de silicón con una eficiencia del 4 por ciento, que después se elevó al 11 por ciento (EnergiaSolar.mx, 2019).

El 17 de marzo de 1958 se lanza el Vanguard I, el primer satélite alimentado con energía solar fotovoltaica. Ese mismo año se lanzan los satélites Explorer III, Vanguard II y Sputnik-3: todos ellos alimentados con energía solar fotovoltaica (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008)..

Un desarrollo importante fue un calentador solar sumamente eficiente inventado por Charles Greeley Abbott en 1936. El calentador solar de agua se hizo popular por este tiempo en Florida, California y otros lugares. El crecimiento de esta industria fue alto hasta mediados de los años cincuenta, cuando el bajo costo del gas natural hizo que este energético se usara como fuente principal para calentamiento (EnergiaSolar.mx, 2019).

En la década de los años sesentas, el excesivo abaratamiento de los combustibles convencionales hizo que se dedicase poca atención al tema de la energía solar (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1960 se consiguen células fotovoltaicas que alcanzan una eficiencia del 14 por ciento (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1962 se lanza el satélite Telstar, que fue el primer satélite comercial de telecomunicaciones (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1963 en Japón se instala un sistema fotovoltaico de 242 W en un faro (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

El abandono, para fines prácticos, de la energía solar duró hasta los años setentas. Pero en esos años el aumento en el precio del petróleo y gas llevó a un resurgimiento en el uso de la energía solar para calentar hogares y agua, así como en la generación de electricidad (EnergiaSolar.mx, 2019).

Fue en 1973 cuando, como consecuencia de la cuarta guerra árabe-israelí, la Organización de Países Exportadores de Petróleo decidió elevar enormemente los precios del petróleo y se produjo un fuerte resurgimiento mundial de la energía solar,

al poder ser ya competitiva con los nuevos y altos precios del petróleo y de los productos energéticos en general (EnergiaSolar.mx, 2019).

En 1973 la Universidad de Delaware construye “Solar One”, una de las primeras viviendas con energía solar fotovoltaica (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1974-77 se fundan las primeras compañías de energía solar (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1981 vuela el “Solar Challenger”, un avión no tripulado abastecido con energía solar fotovoltaica. Se instala en Jeddah, Arabia Saudita, una planta desalinizadora por ósmosis inversa abastecida por un sistema fotovoltaico de 8 kW (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1983 la producción mundial de energía solar fotovoltaica supera los 21.3 MW (mega watt), y las ventas superan los 250 millones de dólares. El Solar Trek, un vehículo alimentado por energía solar fotovoltaica (1 kW) atraviesa Australia: (4000 km en 20 días). Se construye una planta de energía solar fotovoltaica de 6 MW en California, en una extensión de 930777.0 m² (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1992 se instala un sistema fotovoltaico de 1.5 kW en Lago Hoare, Antártida, con baterías de 2.4 kW/h. Se utiliza para abastecer el equipamiento de un laboratorio, iluminación, computadoras personales e impresoras y un pequeño horno microondas (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En 1996 el “Ícaro”, un avión no tripulado movido por energía solar Fotovoltaica, sobrevuela Alemania. Las alas y la zona de cola están recubiertas de tres mil células súper eficientes con una superficie de 21 m² (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

Actualmente la energía solar tiene una gran importancia en dos ámbitos diferentes: como generadora de electricidad (energía fotovoltaica) y como captadora de calor para su posterior uso (energía solar térmica). Los continuos avances científicos de esta fuente de energía han repercutido en las últimas décadas sobre la eficiencia y costo de los sistemas solares, haciendo así que hoy sea una energía renovable capaz de competir con las energías no renovables, una alternativa cada vez más

viable a energías tales como el petróleo o el gas natural, no solo medioambientalmente sino económica y energéticamente (López Sánchez, 2016).

Desde la construcción de casas en la antigüedad con la orientación adecuada para captar la luz solar, hasta las modernas celdas fotovoltaicas delgadas, los humanos han aprovechado la luz solar para cubrir sus necesidades de energía. Lo que resulta perfectamente lógico, ya que, después de todo, el sol proporciona suficiente energía cada hora para cubrir las demandas mundiales por un año (EnergiaSolar.mx, 2019).

Las células fotovoltaicas tuvieron su primer gran campo de aplicación en el espacio. No fue hasta mediados de los setenta (a raíz de la primera crisis del petróleo) cuando se comenzaron a utilizar de forma comercial en aplicaciones terrestres (para señalización de boyas luminosas, señalización ferroviaria, antenas de comunicación, etc.). Para estas aplicaciones se tuvo que reducir el precio de los módulos a la mitad, por lo que se empezó a utilizar silicio de rechazo de la industria electrónica de semiconductores. En la actualidad, dada la gran demanda de silicio para paneles fotovoltaicos, éste se adquiere directamente de los productores de silicio (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

2.2. El sol

La distancia Tierra al Sol es de 150 millones de km. El Sol es conocido como una estrella y su diámetro es de 1,400,000 km, su masa es 300,000 veces la masa de la tierra y tiene una temperatura superficial de 5,600 grados kelvin, su vida estimada es de 5,000 millones de años (Rodríguez de Luis, 2019).

La luz solar tarda 8 minutos en llegar a la tierra. El Sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión que se llevan a cabo en su núcleo (Rodríguez de Luis, 2019).

Su flujo radiante es de 3.8×10^{26} Watts equivalente a una densidad de 62.5 MW por cada metro cuadrado de superficie solar. Solo una pequeña parte, 1.37 KW por metro cuadrado aproximadamente, llega a la superficie de la tierra como consecuencia de la distancia que los separa. La radiación que llega varía de forma aleatoria debido a muy diversos efectos que provoca sobre ella la atmósfera terrestre. Una gran parte es absorbida y dispersa por los propios agentes variables

que allí se encuentran, tales como la polución y la nubosidad (Rodríguez de Luis, 2019).

2.3. Aprovechamiento de la luz solar

El Sol genera su energía a través de reacciones nucleares de fusión llevadas a cabo en su núcleo. Estas reacciones se definen de manera básica mediante la ecuación que en su día formuló el famoso científico Albert Einstein, $E = m \cdot c^2$, donde “E” es la cantidad de energía liberada por el Sol al consumir su masa “m”, siendo “c” la velocidad de la luz. Se debe recordar que la masa del Sol es 300,000 veces la masa de la Tierra y genera a su vez un flujo radiante de 3.8×10^{26} W (López Sánchez, 2016).

Pese a que solo llega una pequeña parte a la Tierra y que una gran parte de esta última es absorbida y/o dispersada por agentes variables como la polución o la nubosidad, la energía solar final que llega a la superficie terrestre es 10,000 veces mayor que la energía consumida por toda la humanidad por un mismo tiempo (López Sánchez, 2016).

La radiación solar es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es, como su nombre indica, aquella que llega a la superficie terrestre directamente sin sufrir reflexiones o refracciones. La difusa, por otro lado, es aquella que atraviesa la atmósfera y es reflejada por la presencia de nubes y otras partículas atmosféricas o absorbidas por éstos (López Sánchez, 2016).

La radiación utilizada en los paneles solares es la directa, la cual puede reflejarse y concentrarse para su posterior uso, cosa que no puede lograrse con la componente difusa debido a que ésta proviene de todas las direcciones (López Sánchez, 2016).

2.4. El sol como principal fuente de energía.

El sol es la principal fuente de energía en la tierra, puede satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos como aprovechar de forma racional la luz que continuamente llega a nuestro planeta. El sol ha brillado en el cielo desde hace cinco mil millones de años y se calcula que aún no ha llegado a la mitad de su existencia (MadridSolar, 2006).

La cantidad de energía que el sol vierte diariamente sobre la tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el planeta (MadridSolar, 2006).

La luz radiante y el calor del sol, ha sido aprovechado por la sociedad humana desde tiempos antiguos por medio de gama de tecnologías en constante evolución. La radiación solar, junto con los recursos solares secundarios, tales como el viento y la energía de las olas, la energía hidroeléctrica y la biomasa, representa la mayor parte de la energía renovable disponible en la tierra (ELSEVIER., 2013).

2.5. La energía solar

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante dispositivos en forma térmica o eléctrica para su posterior consumo. El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, pudiendo ser de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos (MadridSolar, 2006).

2.6. La irradiancia e irradiación

La irradiancia es la magnitud que marca la radiación o intensidad de iluminación solar que llega a la tierra como una potencia instantánea por unidad de superficie, se mide en W/m^2 .

La irradiación es la cantidad de irradiancia por unidad de tiempo, o dicho de otra manera, la radiación solar recibida por unidad de tiempo y superficie, se mide en Wh/m^2 (López Sánchez, 2016).

2.7. Radiación solar

Radiación directa (B): Formada por los rayos procedentes del Sol directamente es decir, que no llegan a ser dispersados.

Radiación difusa (D): Aquella procedente de toda la bóveda celeste excepto la que llega del Sol. Originada por los efectos de dispersión mencionados anteriormente.

Radiación del albedo (R): Procedente del suelo, debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre montañas, lagos, edificios, etc. Depende muy directamente

de la naturaleza de estos elementos. Esta se obtiene del cociente entre la radiación reflejada y la incidente sobre una superficie.

La suma de estas tres componentes da lugar a la:

Radiación global: $G = B + D + R$ (Rodríguez de Luis, 2019).

2.8. Efecto fotovoltaico

Cuando la luz del sol golpea una célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar son absorbidos por el material y se desalojan los electrones de los átomos de la célula, los electrones libres se mueven, creando y rellenando agujeros en la celda, es este movimiento de electrones es lo que genera electricidad. El proceso físico en el que una célula fotovoltaica convierte la luz del sol en electricidad se conoce como el efecto fotovoltaico (Tyagi *et al.*, 2012).

El físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, estudioso del espectro solar, el magnetismo, la electricidad y la óptica descubrió el efecto fotovoltaico en 1839, fundamental para la posterior invención de las celdas fotovoltaicas (López Sánchez, 2016).

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los cincuenta, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable (Asociación de Empresas de Energías Renovables, 2019).

Las células fotovoltaicas convierten la energía luminosa del sol en energía eléctrica, con un único inconveniente: el costo económico todavía muy elevado para la producción centralizada. Sin embargo, las células fotovoltaicas son ya competitivas en todos aquellos lugares alejados de la red y con una demanda reducida, como aldeas y viviendas sin electrificar, repetidores de televisión, balizas, agricultura, faros, calculadoras y otros bienes de consumo (Santamarta, 2004).

2.9. Energía

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc, puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía. “La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma” (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

Toda la energía que disponemos proviene del Sol. El Sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, etc. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

La energía es un aspecto fundamental en la vida de las personas, y es esencial no sólo para los individuos sino también para varios sectores, incluyendo la agricultura, el transporte, así como para las actividades industriales que son vitales para el crecimiento social y económico de todos los países (Muhammad-Sukki *et al.*, 2012).

La energía se considera un agente primordial en la generación de riqueza y un factor importante en el desarrollo económico de cualquier país y el nivel de vida de las personas. La importancia de la energía en el desarrollo económico es reconocido universalmente y datos históricos verifican que existe una fuerte relación entre la disponibilidad de la energía y la actividad económica (Tyagi *et al.*, 2012).

2.10. Evolución histórica de la energía

Hace unos 400,000 años el hombre comienza a hacer uso consciente del fuego; recogía las brasas y conservaba el fuego en las cavernas, añadiéndoles palitos. Hace unos 10,000 años aprendió a encender el fuego, frotando trocitos de madera.

El hombre de las cavernas era esencialmente carnívoro; la única energía de la que disponía era su propia fuerza muscular, que utilizaba, fundamentalmente, para cazar alimentos. Con el descubrimiento del fuego el hombre primitivo pudo acceder, por

primera vez, a algunos servicios energéticos como cocinar, calentar la caverna y endurecer las puntas de sus lanzas.

En la etapa prehispánica una fuente energética utilizada era la leña que se usaba tanto para producir calor como para cocinar e iluminar. El utensilio alimenticio más extendido y utilizado era el molino de mano (que consiste en dos piedras circulares, planas y superpuestas, de las cuales la de arriba es movida a mano directamente o valiéndose de un mango), con el cual trituraban los cereales usados como fuente de alimento.

Hace unos 2000 años el hombre comienza a utilizar fuentes energéticas basadas en las fuerzas de la naturaleza, como es la del agua y, hace unos 1000 años, la del viento. Aparecen así los molinos de agua, primero, y los de viento, después, que se utilizaron en sus orígenes para moler grano.

Desde el siglo XV hasta finales del XIX, las necesidades energéticas fueron incrementando, los recursos eran escasos, por lo que se utilizaron, además de los molinos, grandes cantidades de leña. Hacia finales del siglo XVIII se produce un hecho trascendental: la invención de la máquina de vapor, un dispositivo que permitía convertir el calor en fuerza mecánica (se quema el carbón, produciéndose calor, que es utilizado para evaporar agua; el vapor a su vez se utiliza para accionar dispositivos mecánicos).

Y con la máquina de vapor llegó la primera revolución industrial, que tuvo enormes repercusiones en el ámbito social y económico. Estas máquinas de vapor utilizaban carbón como fuente de combustible y representaron el comienzo de la era fósil, generalizando el consumo de los combustibles de origen fósil, cambiando los grandes veleros (carabelas, fragatas) por grandes barcos de vapor, que utilizaban carbón. Casi un siglo después de las primeras máquinas de vapor empieza a introducirse una nueva forma de energía: la electricidad.

Este hecho abrió a la humanidad nuevos horizontes. Ya no era necesario que el lugar del consumo de la energía fuese el mismo en el que se generaba y, además, esta forma de energía se podía transformar fácilmente en luz, en calor, en frío, en

movimiento, o energía mecánica, pero no es hasta finales del siglo XIX cuando empieza a introducirse en la vida cotidiana.

El carbón fue utilizado durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, fecha en la cual dejó paso al petróleo, cuyo uso se extendió rápidamente, desplazando en su totalidad al carbón.

En la segunda mitad del siglo XIX aparecen los primeros motores de combustión interna y, con ellos, los automóviles, y en el último tercio de ese siglo se empiezan a emplear como combustible el petróleo y sus derivados.

En la primera mitad del siglo XX empieza a utilizarse el gas natural, y a partir de los años cincuenta se ponen en funcionamiento las primeras centrales nucleares.

Durante este lapso de tiempo el hombre se ha caracterizado por la búsqueda de nuevos artificios y combustibles que faciliten su trabajo y mejoren su nivel de vida, pero también por un crecimiento del consumo energético, al principio lentamente y en los últimos doscientos años de forma mucho más rápida, coincidiendo con un aumento del nivel de vida de los denominados países desarrollados. Problemas derivados de este cambio de modelo energético han sido el incremento de la contaminación, el aumento de las desigualdades sociales y el aumento de las diferencias entre los países pobres y ricos (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008)

Para la generación de electricidad, la energía fotovoltaica y la concentración de energía solar térmica, son las principales tecnologías utilizadas para convertir la radiación abundante del sol (Sarver *et al.*, 2013).

La energía eléctrica una vez producida en las centrales, debe comenzar su viaje a través de las líneas de alta tensión hacia los centros de consumo. El transporte de energía eléctrica a larga distancia debe hacerse con el mayor voltaje posible, para reducir al mínimo las pérdidas en el cable. Los transformadores son los aparatos encargados de modificar el voltaje de la corriente (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

2.11. Clasificación de las energías

Desde el punto de vista de la utilización de la energía, podemos clasificar la energía en primaria, secundaria y útil.

- Energía primaria: es la que se obtiene directamente de la naturaleza y corresponde a un tipo de energía almacenada o disponible, como por ejemplo el petróleo, el carbón, el gas natural, el uranio y las energías renovables.
- Energía secundaria (también conocida como energía final): se obtiene a partir de transformaciones de la energía primaria. Ejemplos de esta categoría son la electricidad o la gasolina.
- Energía útil: es la que obtiene el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios equipos de demanda, como por ejemplo la energía mecánica gastada en un motor, la luminosa en una bombilla, etc. Algunas energías primarias pasan directamente a energía útil, sin transformarse previamente en energía secundaria (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

2.12. Energías renovables y no renovables

Las fuentes de energía pueden clasificarse, atendiendo a su disponibilidad, en renovables y no renovables.

- Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas.
- Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

2.13. Clasificación de las energías no renovables

Dentro de las fuentes de energía no renovable, comúnmente se distinguen principalmente tres tipos:

- a) Las fuentes de energía fósil.
- b) Las fuentes de energía geotérmica.
- c) La energía nuclear.

a) Fuentes de energía fósil

Se llama energía fósil a la que se obtiene de la combustión de ciertas sustancias que, según la geología, se produjeron en el subsuelo a partir de la acumulación de grandes cantidades de residuos de seres vivos, hace millones de años.

Entre dichas sustancias destacan:

- Petróleo y sus derivados:

El petróleo es una mezcla de una gran variedad de hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrógeno) en fase líquida, mezclados con una variedad de impurezas. Por destilación y otros procesos, se obtienen las diversas variedades de gasolinas, diésel, etc. A nivel mundial ya no es un recurso abundante, y se encuentra muy sobreexplotado, por motivos energéticos y financieros.

- Gas natural:

El gas natural está compuesto principalmente por metano y corresponde a la fracción más ligera de los hidrocarburos, por lo que se encuentra en los yacimientos en forma gaseosa.

- Carbón mineral:

El carbón mineral está compuesto principalmente por carbono, también de origen fósil, que se encuentra en grandes yacimientos en el subsuelo. A nivel mundial, el carbón es abundante, pero los problemas ecológicos que causa son aún más mayores que los inherentes al petróleo y sus derivados.

b) Energía geotérmica

La energía geotérmica consiste en extraer calor del magma incandescente de la Tierra, por medio de vapor. Mediante procesos térmicos, es posible generar electricidad, en las plantas “geo termoeléctricas”.

El magma se encuentra cerca de la superficie terrestre en las zonas con gran actividad volcánica, y es de dónde más se puede explotar.

En algunos casos el vapor o el agua caliente brotan espontáneamente. En otros, es necesario inyectar agua en pozos y extraerla en forma de vapor. Es necesario saber que el aprovechamiento de la energía geotérmica no involucra una combustión.

c) Energía nuclear

La energía nuclear se obtiene de la modificación de núcleos de algunos átomos, muy pesada o muy ligera. En esta modificación, cierta fracción de su masa se transforma en energía. La liberación de energía nuclear, por tanto, tampoco involucra combustiones, pero sí produce otros subproductos agresivos al ambiente.

Se distinguen, principalmente, dos procesos:

Fisión: La fisión nuclear consiste en la desintegración de átomos pesados, como ciertos isótopos de uranio o plutonio, para obtener átomos más pequeños. Dentro de la fisión existen diversas variantes.

Fusión: La fusión nuclear consiste en la obtención de átomos de mayor tamaño, a partir de ciertos isótopos de átomos pequeños, como el tritio, de esta manera se libera una gran cantidad de energía. Aunque todavía no se ha logrado desarrollar una técnica para aprovechar la fusión nuclear en la Tierra con fines pacíficos (Gutiérrez Bernal, 2014).

2.14. Energías renovables

La energía renovable y el desarrollo sostenible son dos expresiones clave para el ser humano ya que los combustibles fósiles tienden al agotamiento, a precios cada vez más altos que van a ser insoportables para la humanidad y son los principales

responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo insostenible.

Las energías renovables, por el contrario, entre otras cosas, son limpias y casi seguras y son fundamentales para el desarrollo sostenible, la que conserva los recursos para las generaciones futuras (Ramos Pires Manso y Bashiri Behmiri, 2013).

Lo más inteligente sería aprovechar otras fuentes de energía como lo son las renovables provenientes del viento, sol y residuos por ejemplo, estas no se agotan y no contaminan el medio ambiente (MadridSolar, 2006).

2.15. Clasificación de las energías renovables.

Energía solar.-

❖ Energía solar térmica.

Consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente e incluso vapor.

❖ Energía solar fotovoltaica.

Esta se realiza a través de la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico. Esta transformación se lleva a cabo mediante “células solares” que se fabrican con materiales semiconductores (por ejemplo silicio) que generan electricidad cuando incide sobre ellas la radiación solar (MadridSolar, 2006).

Energía eólica.-

Los sistemas eólicos utilizan la energía cinética contenida en el viento para producir electricidad mediante los denominados aerogeneradores. Existen dos tipos de instalaciones eólicas:

- Aisladas, para generar electricidad en lugares remotos para autoconsumo. Es muy común que estas instalaciones vayan combinadas con paneles fotovoltaicos.
- Parques eólicos, formados por un conjunto de aerogeneradores, para venta a la red de la electricidad generada (MadridSolar, 2006).

Energía mini hidráulica.-

El aprovechamiento de la energía potencial del agua procedente de un salto para producir energía eléctrica, es lo que se conoce como energía hidráulica. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. Se considera que este tipo de energía es renovable cuando la potencia es inferior a 10MW (Energía mini hidráulica).

Existen fundamentalmente dos tipos de centrales hidroeléctricas:

- ❖ Centrales de agua fluyente: Aquellas que captan una parte del caudal circulante por un río y lo conducen a la central para ser turbinado. Después, este caudal es devuelto al cauce del río.
- ❖ Centrales a pie de presa: Aquellas situadas aguas debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines como abastecimiento de agua a poblaciones o riegos. Tienen la ventaja de almacenar la energía (el agua) y poder emplearla en los momentos en los que más se necesite (MadridSolar, 2006).

Energía de la biomasa.-

La biomasa es una fuente energética basada en el aprovechamiento de materias orgánicas de origen vegetal o animal, incluyendo los productos u subproductos resultantes de su transformación. Bajo la denominación de biomasa se recogen materiales energéticos de muy diversas clases: residuos forestales, agrícolas leñosos, herbáceos, procesos industriales, cultivos energéticos, materiales orgánicos contenidos en los residuos sólidos urbanos, biogás de residuos ganaderos o de residuos biodegradables de instalaciones industriales, de la depuración de aguas residuales urbanas o de vertedero, etc. Al igual se pueden incluir bajo la

denominación biomasa, los biocombustibles, que tienen su principal aplicación en el transporte.

Las aplicaciones de la biomasa se pueden englobar en dos grupos:

- Aplicaciones domésticas e industriales que funcionan mediante la combustión directa de la biomasa.
- Aplicaciones vinculadas a la aparición de nuevos recursos y nuevas técnicas de transformación, como la gasificación y la pirolisis de la biomasa. (MadridSolar, 2006).

Energía mareomotriz y de las olas.-

Los mares y los océanos son inmersos colectores solares de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos (oleaje, mareas y gradientes térmicos).

La energía liberada por el agua de mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas (flujo y reflujo) se aprovecha en las centrales mareomotrices, haciendo pasar el agua a través de turbinas hidráulicas.

La energía de las olas es producida por los vientos y resulta muy irregular. Esto ha llevado a multitud de tipos de máquinas para su aprovechamiento.

Por último, la conversión de energía térmica oceánica es un método de convertir en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra a 100 m de profundidad. Para el aprovechamiento es suficiente una diferencia de 20 grados centígrados. Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y benigno desde el punto de vista medioambiental (MadridSolar, 2006).

Energía geotérmica.-

La energía geotérmica es la manifestación de la energía térmica acumulada en rocas o aguas que se encuentran a elevada temperatura en el interior de la tierra. Para el aprovechamiento en zonas con condiciones térmicas especiales, por ejemplo las zonas volcánicas, se hace circular en ellas un fluido que transporta hasta la superficie el calor acumulado en las zonas calientes.

La energía generada en función de su temperatura (alta, media o baja) es aprovechada, bien para producir electricidad, o bien para el calentamiento de agua o calefacción.

La energía geotérmica tiene la principal ventaja de que su impacto ambiental es mínimo, y tiene rendimientos que le permiten competir con el petróleo. Pero sus principales desventajas son que requieren de grandes inversiones y que los campos geotérmicos son relativamente escasos y muchas veces se ubican en zonas desfavorables (MadridSolar, 2006).

2.16. Comparativo de ventajas de energías.

Cuadro 1. Ventajas de energías (MadridSolar, 2006).

	Energías renovables	Energías convencionales
Ventajas medioambientales	Las energías renovables no producen emisiones de CO ₂ y otros gases contaminantes a la atmosfera.	Las energías producidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) si los producen.
	Las energías renovables no generan residuos de difícil tratamiento.	La energía nuclear y los combustibles fósiles generan residuos que supone durante generaciones una amenaza para el medioambiente.
	Las energías renovables son inagotables.	Los combustibles fósiles son finitos.
	Las energías renovables	Los combustibles fósiles

Ventajas estratégicas	son autóctonas. Las energías renovables disminuyen la dependencia exterior.	existen sólo en un número limitado de países. Los combustibles fósiles son importados en un alto porcentaje.
Ventajas socioeconómicas	Las energías renovables crean cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.	Las energías tradicionales crean muy pocos puestos de trabajo respecto a su volumen de negocio.
	Las energías renovables permiten desarrollar tecnologías propias.	Las energías tradicionales utilizan en su gran mayoría tecnología importada.

La principal ventaja de este tipo de energías es que son energías ecológicas, es decir este tipo de energías son distintas a las de combustibles fósiles o centrales nucleares debido a su diversidad y abundancia. Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, fósiles o renovables. Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear (Blanco Sardinero, 2009).

Las tecnologías renovables son cada vez más competitivas en costos en mayor número de países y circunstancias, pero aún se requieren sistemas de apoyo por parte del gobierno para apoyar el despliegue en muchos otros. La capacidad de generación de energía a base de energías renovables se estima que ha aumentado en 128 GW (giga watts) en 2014, de los cuales 37 por ciento en energía eólica, casi

un tercio energía solar y más de una cuarta parte generación energía hidroeléctrica. Esto equivale a más del 45 por ciento de la nueva capacidad de generación mundial en 2014 (González Brañas, 2015).

2.17. Energía solar

Esta es una de las fuentes de energía renovable más ampliamente adoptada que puede ser utilizada en diversas aplicaciones tales como, la gestión térmica mediante colectores térmicos o la generación de electricidad a través de células solares ópticas especiales, también conocidas como células fotovoltaicas (Adham *et al.*, 2015).

La energía solar es una de las fuentes de energía más limpias que no compromete o se suma al calentamiento global. El sol irradia energía cada segundo y la gente la ha utilizado desde principio de los tiempos. La energía solar es a menudo llamada “energía alternativa” a las fuentes de energía de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón. La disponibilidad de energía barata y abundante, con mínimos riesgos ambientales y ecológicos asociados con su producción y el uso es uno de los factores importantes para la mejora deseada en la calidad de vida de las personas (Solangi *et al.*, 2011).

Esta energía es una de las formas más prometedoras de las energías renovables. Es considerada como inagotable, sostenible y prácticamente ilimitada (Muhaimin Ismail *et al.*, 2015).

Es una opción atractiva debido a su bajo costo de mantenimiento y de papel para promover la autosuficiencia energética (Chaianong y Pharino, 2015).

La energía solar es ventajosa en relación con cualquier otra fuente de energía, y la pieza clave de cualquier programa serio del desarrollo sostenible. No agota los recursos naturales, no causa dióxido de carbono u otra emisión gaseosa en el aire ni genera residuos líquidos o sólidos (Solangi *et al.*, 2011).

2.18. Cómo funciona la energía solar

La energía procedente del sol y que llega a la tierra en un año es mayor que toda la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo. Si

se pudiera aprovechar tan solo el 0.002 por ciento de la radiación solar; se podría abastecer toda la demanda energética mundial y aun sobraría energía (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008). Un 99 por ciento de la energía que llega desde el sol a la atmósfera terrestre en forma de ondas electromagnéticas está repartida en tres tipos: infrarroja, la visible y la ultravioleta, siendo la visible la que nos proporcionara más energía (Olvera Miranda y Montalvo Yagual, 2015).

El Sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía mareomotriz y la geotérmica. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera.

De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta.

La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas:

Radiación directa: es la radiación que nos llega directamente del Sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado.

Radiación difusa: es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado.

Radiación reflejada o albedo: es la radiación reflejada por la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, con agua (como cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.

La radiación global: es la suma de la radiación directa y la radiación difusa (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

2.19. Como medir la radiación

Actualmente existen equipos de medición de radiación como el piranómetro que es capaz de medir los 3 tipos de radiación y el pirheliómetro que solo mide la radiación directa y debe ser acoplado a un dispositivo de captación o seguimiento solar para aprovecharlo al máximo. Estos dispositivos son usados en los estudios previos al diseño e implementación de plantas generadoras de energía eléctrica usando paneles solares (Olvera Miranda y Montalvo Yagual, 2015).

Para medir la radiación solar que llega a la superficie terrestre se utilizan los siguientes instrumentos:

Piranómetro: que mide la radiación global o la difusa, según se le ponga un anillo de sombra (difusa) o no (global).

Pirheliómetro: que mide la radiación directa.

Pirgeómetro (o albedómetro): que mide la radiación reflejada o albedo (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor (EnergiaSolar.mx, 2019).

2.20. Otros tipos de energía solar

Energía solar pasiva.-

Caracterizada por ser aquella que aprovecha esta fuente de energía cuyo aprovechamiento es directo sin transformarse en otro tipo de energía, como sería el caso de la energía fotovoltaica (energía eléctrica) o la térmica (energía térmica). Las principales aplicaciones de ésta son el calentamiento de espacios, sistemas de calentamiento basados en termosifón o los hornos solares y los beneficios principales son la poca o nula falta de sistemas (y por tanto costos) para el aprovechamiento de la energía, sin prácticamente mantenimiento y siendo una energía limpia y renovable (López Sánchez, 2016).

Energía termo solar de concentración.-

Se basa en la utilización de espejos o lentes a fin de concentrar una gran cantidad de radiación solar sobre una superficie reducida, consiguiendo gran cantidad de energía por superficie. Posteriormente esta energía es aprovechada como calor y se utiliza en un motor térmico conectado a un generador de electricidad. Así, la energía solar es convertida en térmica y finalmente en energía eléctrica. Hasta hoy dicha energía tiene uso únicamente en grandes instalaciones de generación de electricidad (López Sánchez, 2016).

Energía solar híbrida.-

Combina algún tipo de energía solar con otra fuente de energía. Así, la energía solar fotovoltaica puede combinarse con un generador diésel que aportará la potencia requerida por el sistema en los momentos en los que la primera no pueda, permitiendo tener siempre energía y a su vez no consumiendo solamente combustibles fósiles. Por otro lado, la misma energía solar puede unirse a un sistema eólico, siendo las dos energías limpias y renovables y aprovechando sus diferentes picos de generación, tanto diaria como anualmente (López Sánchez, 2016).

2.21. Ventajas de usar la energía solar

Ventajas medioambientales:

La energía solar contribuye a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, no produce residuos de difícil tratamiento y constituye una fuente de energía inagotable. Aunque la fabricación de las células fotovoltaicas requiere el uso de elementos tóxicos, si se considera el ciclo de vida de la tecnología fotovoltaica, el impacto sobre la naturaleza es incomparablemente menor que las tecnologías basadas en combustibles fósiles o nucleares.

La instalación de energía solar fotovoltaica de sistemas aislados de la red ayuda a reducir costes ecológicos y estéticos (MadridSolar, 2006).

Ventajas estratégicas:

La energía solar térmica y la fotovoltaica provienen de recursos autóctonos por lo que disminuye la dependencia energética y económica exterior. Además de ser sistemas sencillos y fáciles de instalar, pueden situarse casi en cualquier lugar y en instalaciones de diferente tamaño, se puede modular la potencia según necesidades, mantenimiento muy bajo (MadridSolar, 2006).

Ventajas socioeconómicas:

El desarrollo de la energía solar presenta el valor añadido de generar puestos de trabajo y permitir el desarrollo de tecnologías propias.

En el caso de las instalaciones aisladas de la red se evita un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso (MadridSolar, 2006).

- ❖ La energía procedente del sol es limpia, renovable y gratuita.
- ❖ Producirla evita el despoblamiento progresivo de determinadas zonas.
- ❖ Disminuye costos de mantenimiento de las líneas eléctricas, sobre todo en zonas aisladas.
- ❖ Instalación fácilmente modulable, se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades.
- ❖ Mantenimiento y riesgo de avería muy bajo de las instalaciones fotovoltaicas, silenciosas y sencillas.
- ❖ Energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en todo el territorio.
- ❖ Tecnología de rápido desarrollo que tiende a reducir el costos y aumentar el rendimiento (Rodríguez de Luis, 2019).

La mayor ventaja de la energía solar en comparación con otras formas de energía es que es amigable con el medio ambiente y disponible en abundancia y puede realizarse sin ningún tipo de contaminación ambiental (Tyagi *et al.*, 2012).

2.22. Energía solar térmica

En 1867 el científico francés Auguste Mouchot usó un colector solar para calentar agua y utilizar el vapor resultante para mover un motor, pero el elevado costo impidió el uso comercial del invento. Como desarrollo importante en el marco de la energía

solar térmica se encuentra el calentador solar sumamente eficiente que inventó Charles Greeley Abbot en 1936. Famoso en estados como Florida y California, entre otros, fue creciendo su uso hasta mediados de los años cincuenta, cuando el bajo coste del gas natural supuso su estancamiento. Aun así, el aumento del precio del petróleo y el gas en los siguientes años llevaron a la energía solar a resurgir en los años setenta (López Sánchez, 2016).

2.23. Que es la energía solar térmica

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire. La tecnología actual permite también calentar agua con el calor solar hasta producir vapor y posteriormente obtener energía eléctrica (MadridSolar, 2006).

El componente importante de cualquier sistema solar es el colector solar. Este es un dispositivo que absorbe la radiación solar entrante, la convierte en energía térmica, y la transfiere a través de un fluido (normalmente aire, agua o aceite) para el propósito, aplicaciones útiles. Generalmente, se utilizan como secador de aire, calentador para el secado de los productos agrícolas y/o aplicaciones de calefacción, refrigeración en combinación con los calentadores auxiliares para aire acondicionado de los edificios (Tyagi *et al.*, 2012).

2.24. Cómo funciona la energía solar térmica

Colector térmico: utiliza energía solar para generar calor mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos. El funcionamiento de un colector se basa en la captación de los rayos solares por parte del panel solar, por el cual está circulando agua u otro fluido. Éste será el que absorba el calor recibido del Sol, para posteriormente poderse usar directamente o almacenarse si así se desea (López Sánchez, 2016).

2.25. Aplicaciones de la energía solar térmica

- Producción de agua caliente.

La principal aplicación de la energía solar térmica es la producción de agua caliente sanitaria para el sector doméstico y de servicios. El agua caliente sanitaria se usa a una temperatura de 45 grados Celsius, temperatura a la que se puede llegar fácilmente con captadores solares planos que pueden alcanzar como temperatura media 80 grados Celsius.

- Calefacción de baja temperatura.

La energía solar térmica puede ser un complemento al sistema de calefacción, sobre todo para sistemas que utilicen agua a menos de 60 grados Celsius.

- Calentamiento de agua de piscinas.

El uso de colectores puede permitir el apoyo energético en piscinas al exterior alargando el periodo de baño, mientras que en invierno puede suministrar una parte pequeña de apoyo (MadridSolar, 2006).

Las principales aplicaciones de este tipo de energía solar son el calentamiento de agua sanitaria, la calefacción por suelo radiante y el precalentamiento de agua para procesos producidos en sala de máquinas (López Sánchez, 2016).

2.26. Energía solar fotovoltaica

2.26.1. Que es la energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia y con poco impacto visual, que crea riqueza y desarrolla entornos rurales poco favorecidos. Esto ha provocado una amplia base de apoyo social, político y sindical que ha facilitado e incentivado el desarrollo de la industria (Collado Fernández, 2009).

En términos generales, la tecnología fotovoltaica, generando directamente electricidad a partir de energía solar, está libre de consumo de energía fósil y los gases de efecto invernadero durante sus operaciones. Por lo tanto, parece estar completamente limpia y no tienen impactos ambientales (Lin Lu y Yang, 2013).

El interés científico, así como el potencial comercial condujo a incrementar la investigación en fotoconductividad y temas relacionados (Spanggaard y Krebs, 2004).

A diferencia de las unidades generadoras de los combustibles fósiles, la fuente de la energía fotovoltaica de energía solar es omnipresente y abundante (Rezaee Jordehi, 2016).

2.26.2. Cómo funciona la energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica comprende la tecnología para convertir la luz solar directamente a electricidad. El término “foto” significa luz y “voltaico” electricidad “ (Tyagi *et al.*, 2012). Y es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores (Asociación de Empresas de Energías Renovables, 2019).

Debido a la falta de emisiones, la sustitución de las fuentes de energía tradicionales con energía solar puede reducir efectivamente el “efecto invernadero“. Actualmente la generación de energía solar fotovoltaica es la tecnología más fuerte para aplicaciones de energía solar (Zhao *et al.*, 2013).

Para poder utilizar esta fuente energética es necesario contar con un espacio para poder instalar los paneles solares, siendo generalmente utilizados los techos o terrazas, aunque también se da el emplazamiento de los denominados parques solares, que consisten en instalaciones a gran escala y utilizados para brindarles energía eléctrica a una gran cantidad de hogares como también abastecer a ciudades enteras (Vázquez Guzmán *et al.*, 2016).

La tecnología fotovoltaica se ha adoptado en muchas regiones del mundo, ya que la energía solar es omnipresente y abundante en la superficie de la tierra. Los sistemas fotovoltaicos ofrecen una amplia gama de aplicaciones, desde suministro eléctrico

directo para electrodomésticos hasta grandes centrales eléctricas que alimentan electricidad a la red y atienden a comunidades grandes (Adham *et al.*, 2015).

El sistema solar fotovoltaico podría ser superior a otros tipos de energías renovables porque se produce en silencio con poca operación y necesidades, sin la contaminación directa o el agotamiento de los recursos, y depende únicamente de la irradiación solar inagotable (Adham *et al.*, 2015).

Este sistema que convierten la luz solar en electricidad, es una alternativa prometedora de energía renovable a partir de las perspectivas de futuro (Sharma y Chandel, 2013). La energía fotovoltaica ha aumentado su eficiencia en gran forma durante las últimas décadas, pero todavía no lo ha hecho lo suficiente para entrar de manera masiva al mercado. Se estima que el futuro de la energía solar no está ligado únicamente a las aplicaciones o utilidades que se puedan obtener de ella, si no a los costos que las personas tengan que abonar por una instalación de tipo solar (Gutiérrez Bernal, 2014).

En general, los sistemas fotovoltaicos solares aprovechan la energía del sol utilizando células fotovoltaicas, que es un diodo semiconductor especializada que convierte la radiación solar en electricidad de corriente continua para su uso (Muhaimin Ismail *et al.*, 2015).

Desde la perspectiva del tipo de montaje, solares fotovoltaicos pueden ser montados en tierra, integrado en el techo o en las paredes de los edificios en la azotea o patio de montaje (Rezaee Jordehi, 2016).

2.26.3. Ventajas de la energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica ofrece numerosas ventajas competitivas respecto a otras fuentes energéticas. Entre las numerosas ventajas destacan las siguientes:

1. El sol es una fuente energética gratuita e inagotable. El silicio, material utilizado como semiconductor en las células fotovoltaicas, es el segundo material más abundante en la corteza de la tierra.
2. La generación de energía solar fotovoltaica no produce ruido ni emisiones contaminantes ni gases tóxicos, lo que contribuye a combatir el cambio climático.

3. No precisa de un suministro exterior, no consume combustible, ni necesita presencia de otros recursos como el agua o el viento.
4. Las centrales fotovoltaicas ofrecen una rentabilidad duradera ya que su funcionamiento puede prolongarse durante más de 25 años.
5. La energía necesaria para fabricar un módulo fotovoltaico representa sólo entre 1.5 y 3 años de la vida productiva del módulo, es decir, un módulo genera entre 6 y 18 veces más energía de la que utiliza en su fabricación.
6. Los módulos fotovoltaicos pueden ser reciclados al final de su vida útil y algunos de los materiales que los componen pueden ser reutilizados.
7. Los módulos fotovoltaicos ofrecen una fácil instalación y requieren un mantenimiento mínimo.
8. La tecnología solar fotovoltaica permite generar electricidad limpia en zonas rurales remotas.
9. La versatilidad en la utilización de algunos módulos fotovoltaicos permite su integración en edificios con un resultado estéticamente muy atractivo.
10. El sector fotovoltaico se ha convertido en un sector generador de empleo y riqueza.
11. La energía solar fotovoltaica reduce la dependencia energética de los países.(Gutiérrez Bernal, 2014).

Una de las principales ventajas sociales de la energía solar fotovoltaica es la facilidad de acceso para inversores de todo tipo. La distribución homogénea del recurso solar permite, a diferencia de otras tecnologías renovables, la puesta en marcha de proyectos en todas las regiones y en un amplio rango de terrenos disponibles (Collado Fernández, 2009).

2.26.4. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica puede ser utilizada desde el área aeroespacial hasta juguetes, pasando por calculadores y la producción de energía a gran escala para consumo general o a pequeña escala para consumo de viviendas.

Principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones: las de conexión de red, donde la energía que se produce se utiliza para la venta a la red eléctrica de

distribución y las aisladas de red, que se utilizan para autoconsumo, ya sea una vivienda aislada, una estación repetidora de telecomunicación, bombeo de agua para riego, etc. (MadridSolar, 2006).

2.27. Instalaciones conectadas a la red eléctrica

La corriente eléctrica generada por una instalación fotovoltaica puede ser vertida a la red eléctrica como si fuera una central de producción de energía eléctrica. El consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos, el usuario sigue comprando la energía eléctrica que consume a la compañía distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora (MadridSolar, 2006).

2.28. Ventajas respecto consumo de la red

- Una gestión de la energía consumida mucho más precisa, un mayor control de su producción y consumo suponen un ahorro considerable.
- Se genera un sistema distribuido de generación eléctrica que reduce la necesidad de invertir en nuevas redes y reduce las pérdidas de energía por el transporte de la electricidad a través de la red.
- Contribuir en la reducción de las emisiones de bióxido de carbono CO₂ a la atmósfera y por tanto evitar el sobrecalentamiento del planeta.
- Se reduce la dependencia energética del país con el exterior.
- Se evitan problemas para abastecer toda la demanda en hora punta, conocidos por los cortes de electricidad y subidas de tensión.
- Se minimiza el impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno. (Gutiérrez Bernal, 2014).

2.29. Instalaciones aisladas de la red eléctrica

Los sistemas aislados son aquellos que generan electricidad sin estar conectados a la red eléctrica que proporciona al propietario normalmente esta energía. Normalmente requieren acumuladores solares o baterías para almacenar la energía

fotovoltaica generada y así poder disponer de ésta en cualquier momento del día, incluyendo las horas en que no hay luz solar y por tanto no se produce energía.

Los principales ejemplos de sistemas aislados los encontramos en telecomunicaciones, aplicaciones agrícolas y ganaderas, en el alumbrado público, en señalización o en el control de magnitudes como el nivel o la temperatura (López Sánchez, 2016). Estas instalaciones se emplean sobre todo en aquellos emplazamientos en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender a una línea entre la red y el punto de consumo. La electricidad generada se destina a autoconsumo (MadridSolar, 2006).

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados son:

- Electrificación de viviendas y edificios, principalmente para iluminación y electrodomésticos de baja potencia
- Alumbrado público.
- Aplicaciones agropecuarias y ganaderas.
- Bombeo y tratamiento de agua.
- Antenas de telefonía aisladas a la red.
- Señalización y comunicaciones (MadridSolar, 2006).
-

2.30. Elementos componentes de una instalación fotovoltaica

2.30.1. Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red

Generador fotovoltaico

Las células fotovoltaicas, por lo general son de color negro o azul oscuro, se asocian en grupos y se protegen de la intemperie, formando módulos fotovoltaicos. Varios módulos fotovoltaicos junto con los cables eléctricos que los unen y con los elementos de soporte y fijación, constituyen lo que se conoce como generador fotovoltaico. El generador fotovoltaico es el elemento encargado de transformar la radiación solar en energía eléctrica. Esta electricidad se produce en corriente

continua, y sus características dependen de la intensidad energética de la radiación solar y de la temperatura ambiente (MadridSolar, 2006).

Inversor

El inversor es el elemento que transforma la energía eléctrica (corriente continua) producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica. Existen diferentes tipos de inversores, pero se considera recomendable escogerlo en función del tamaño de la instalación a realizar (MadridSolar, 2006).

Contadores

El generador fotovoltaico necesita dos contadores ubicados entre el inversor y la red, uno para cuantificar la energía que se genera e inyecta a la red para su facturación, y otro para cuantificar el pequeño consumo (<2 kWh/ año) del inversor fotovoltaico en ausencia de radiación solar, así como garantía para la compañía eléctrica de posibles consumos que el titular de la instalación pudiera hacer. El consumo de electricidad del edificio se realizara desde la red, con su propio contador, siendo esta una instalación independiente del sistema fotovoltaico (MadridSolar, 2006).

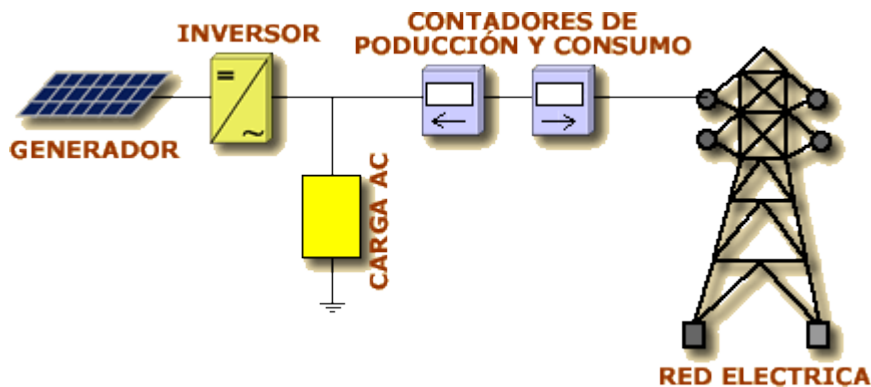


Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red (Rodríguez de Luis, 2019)

2.30.2. Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica

La configuración básica de las instalaciones aisladas de la red eléctrica está compuesta por el generador fotovoltaico, un regulador de carga y una batería. La

batería es el elemento encargado de acumular la energía entregada por los paneles durante las hora de mayor radiación para su aprovechamiento durante las horas de baja o nula insolación. El regulador de carga controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyan su vida útil. Con esta configuración el consumo se produce en corriente continua (MadridSolar, 2006).

Las baterías

En las instalaciones fotovoltaicas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías asociadas en serie o paralelo para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que le corresponde (MadridSolar, 2006).

La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. Además, el inversor, en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la con la tensión de la red (Rodríguez de Luis, 2019).

2.31. Cuanto más sol hay, mayor rendimiento

Las instalaciones fotovoltaicas generan electricidad durante todo el año, mientras reciban radiación solar. Los módulos fotovoltaicos generan electricidad incluso en días nublados, aunque el rendimiento energético se reduce proporcionalmente a la reducción de intensidad de radiación. La electricidad se genera a partir de la radiación solar no del calor, por tanto el frío no representa ningún problema para el aprovechamiento fotovoltaico (MadridSolar, 2006).

2.32. Como se mide la energía solar fotovoltaica

Los módulos se miden en unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar: 1000 W/m² (1 kW/m²) de radiación solar y 25 grados celsius de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en Wp (vatios pico); a esta potencia se la denomina potencia nominal del módulo.

La energía producida por los sistemas fotovoltaicos se calcula multiplicando su potencia nominal por el número de horas sol pico, dado que no todas las horas de sol son de la intensidad considerada como pico (1000 W/m²). El número de horas sol pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día (en Wh/m²) entre 1000 W/m² (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008)

Para determinar la cantidad de energía que almacena un panel se utiliza la siguiente formula:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{I_{STC}}$$

Donde:

E_p = Energía del panel (Wph/día).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ = Valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, el parámetro α representa el azimut y el β la inclinación del panel. (kWh/m² día)

P_{mp} = Potencia pico del panel (Wp)

PR = Performance ratio, es un valor de la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo donde se tienen en cuenta:

- La dependencia de la eficiencia con la temperatura
- La eficiencia del cableado
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto máximo de potencia
- La eficiencia energética del inversor

I_{stc} = 1 kW/m², Irradiancia en condiciones estándares.

Figura 2. Fórmula para determinar la cantidad de energía que almacena un panel (Olvera Miranda y Montalvo Yagual, 2015).

2.33. Autoconsumo fotovoltaico

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos. La capacidad de producir, gestionar y consumir la energía generada mediante energía fotovoltaica, ya sea con o sin acumulación de la misma es una manera sencilla, limpia y rentable. Desde viviendas residenciales, hasta hoteles, negocios o industrias, hoy día con un sistema fotovoltaico se puede ser capaz de producir una energía propia y satisfacer en gran medida los consumos energéticos.

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 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. (Gutiérrez Bernal, 2014).

2.34. Sistema de suministro eléctrico con balance neto

El suministro eléctrico con balance neto es un sistema de compensación de saldos de energía de manera instantánea o diferida, que permite a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo.

El objetivo de este sistema es verter a la red eléctrica el exceso producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer uso de ese exceso en otro momento. De esta manera, la compañía eléctrica que proporciona electricidad cuando la demanda es superior a la producción del sistema de autoconsumo, descontará en el consumo de la red de la factura, los excesos vertidos a la misma.

En países como EE.UU ya existe este sistema y se llama crédito eléctrico, está presente en más de 40 estados. Países de la Unión Europea como Italia, Bélgica y Alemania también tienen este sistema de balance neto. En Italia se abona el doble y no se paga por lo que se consume, en Alemania se aporta, además, una prima por el autoconsumo y en Bélgica se aplica un sistema híbrido de primas y certificados verdes (Gutiérrez Bernal, 2014).

2.35. Barreras de la energía fotovoltaica

Las barreras de la energía fotovoltaica se han clasificado en cuatro grandes grupos:

a) Barreras económicas:

- Rentabilidad insuficiente por lo que se necesita una prima elevada.
- Falta de incentivos fiscales.

b) Barreras tecnológicas:

- Falta de iniciativas y de incentivos para el desarrollo de instalaciones innovadoras.

La situación actual del mercado y las actuales líneas de apoyo no presentan suficientes incentivos para llevar a cabo proyectos novedosos desde el punto de vista técnico, con integración arquitectónica, etc.

- Falta de materia prima en el mercado internacional

En los últimos años la industrial fotovoltaica se ha estado abasteciendo de materias primas (silicio grado solar) que son subproductos o proceden de procesos compartidos con la industria electrónica. El incremento de ambos sectores está produciendo tensiones en los mercados, frente a las cuales la fotovoltaica puede verse perjudicada por su esquema económico de menor valor añadido.

Actualmente están apareciendo nuevas fábricas de silicio que abastecerán a la industrial fotovoltaica.

c) Barreras normativas:

- Escasa adecuación administrativa en redes eléctricas

La energía solar fotovoltaica permite un alto grado de generación distribuida de la energía, pero serán necesarios cambios progresivos en las redes de distribución y transporte, evolucionando hacia “redes inteligentes” (smart grids) para que estas ventajas puedan aprovecharse y acoplarse a la demanda adecuadamente (Gutiérrez Bernal, 2014)

d) Barreras sociales:

- Necesidad de difusión a usuarios potenciales

Aunque se ha avanzado bastante en los últimos años, existe todavía un gran desconocimiento entre los usuarios potenciales que en el caso de la energía solar fotovoltaica es el público en general (Gutiérrez Bernal, 2014).

2.36. Celdas fotovoltaicas

En 1880 Charles Fritts fue el pionero en cuanto a la fabricación de células fotovoltaicas, siendo estas primeras hechas de selenio, aunque con una eficiencia muy reducida (de un 1-2 por ciento) (López Sánchez, 2016).

No fue hasta principios de los años cincuenta cuando se descubrió un proceso de producción de cristales de silicio de alta pureza, factor que impulsó enormemente la industria solar (López Sánchez, 2016).

En 1954 los laboratorios Bell Telephone desarrollaron celdas fotovoltaicas hechas de silicio con una eficiencia del 4 por ciento, que al tiempo se consiguió aumentar a un 11 por ciento (López Sánchez, 2016).

En 1958 Estados Unidos lanzó el Vanguard I, el primer satélite alimentado por energía solar de la historia. Pese a que solo contenía una celda fotovoltaica de menos de un watt de potencia, quedó patente la entrada de la energía solar como fuente de mucho futuro en los años venideros (López Sánchez, 2016).

Deben su aparición a la industria aeroespacial, y se han convertido en el medio más fiable de suministrar energía eléctrica a un satélite o a una sonda en las órbitas interiores del Sistema Solar, gracias a la mayor irradiación solar sin el impedimento de la atmósfera y a su alta relación potencia a peso (Ospino y Isaza, 2016).

2.37. La célula solar

Una célula solar es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de Silicio mono o policristalino. El

primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a su eficiencia (Rodríguez de Luis, 2019).

2.38. Tipos de celdas solares

Dependiendo del material utilizado las células solares se pueden categorizar en tres principales grupos:

Celdas solares de silicio.

Células solares del grupo III-V.

Películas delgadas células solares (Tyagi *et al.*, 2012).

Hay varios tipos de placas fotovoltaicas: Cristalinas, que se dividen a su vez en: monocristalinas y policristalinas, su rendimiento puede alcanzar el 20 por ciento.

Amorfas: En estas el silicio no se ha cristalizado, su rendimiento está entorno al 10 por ciento. Teniendo como ventaja un menor peso y un coste inferior.

Teluro de cadmio: Tienen un rendimiento del 8 por ciento.

Arseniuro de Galio: Tienen un rendimiento del 20 por ciento, siendo de las más eficientes.

Diseleniuro de cobre en indio: Su rendimiento es del 9 por ciento (EnergíaSolarTérmica, 2019).

Actualmente la mayoría de las células fotovoltaicas son de silicio monocristalino de gran pureza, material obtenido a partir de la arena, muy abundante en la naturaleza. La purificación del silicio es un proceso muy costoso, debido a la dependencia del mercado de componentes electrónicos, que requiere una pureza (silicio de grado electrónico) superior a la requerida por las células fotovoltaicas. La obtención de silicio de grado solar, directamente del silicio metalúrgico, cuya pureza es del 98 por ciento, abarataría considerablemente los costes, al igual que la producción de células a partir del silicio amorfo u otros procedimientos, hoy en avanzado estado de investigación y cuyos resultados pueden ser decisivos en la próxima década (Santamarta, 2004).

Silicio monocristalino

El silicio es el más prometedor porque es una materia prima abundante y segura que tiene el potencial para un alto rendimiento de eficiencia. En particular el silicio monocristalino ha recibido mucha atención como material posible para películas delgadas células solares debido a su coeficiente de absorción óptica superior, haciéndolo viable para películas delgadas. El silicio monocristalino también proporciona fabricación rentable debido a su baja materia prima requisitos y bajos requerimientos de energía de producción. Hoy en día, se está trabajando mucho en investigación sobre el desarrollo y fabricado de silicio de cinta de cristal único, que es de menor costo que la alta calidad, y estos beneficios particulares han motivado las investigaciones en células solares de Silicio de cristal único (Tyagi *et al.*, 2012).

Silicio policristalino

Compuesto por pequeños granos de cristal único, las células fotovoltaicas policristalinas de silicio son menos eficientes energéticamente que los de las células fotovoltaicas de silicio monocristalino. Los límites de grano en silicio policristalino, rodean el flujo de electrones y por lo tanto, reduce la potencia de salida de la celda. Un enfoque común para producir células fotovoltaicas de silicio policristalino es cortar obleas finas de bloques de silicio policristalino fundido. Otro enfoque avanzado es el método de “crecimiento de la cinta” en el que el silicio se cultiva directamente como cintas o láminas delgadas con el grosor de aproximación para hacer células fotovoltaicas. El enfoque de crecimiento de cinta más desarrollado comercialmente es el crecimiento alimentado por película definido por el borde (EFG). Comparado con el silicio monocristalino, el material de silicio policristalino es más fuerte y se puede cortar en un tercio del grosor de un material de un solo cristal. También tiene un costo de obleas ligeramente menor y requisitos de crecimiento menos estrictos (Tyagi *et al.*, 2012).

Silicio amorfo

El silicio amorfo no es cristalino, sus átomos de silicio tienen una estructura desordenada. Los módulos fotovoltaicos de silicio amorfo fueron la primera película

delgada comercialmente producida y actualmente la única película delgada que tiene un impacto en los mercados fotovoltaicos en general.

Fue descubierta en 1974. Una ventaja significativa del silicio amorfo es su alta (luz solar) la capacidad de absorción es aproximadamente 40 veces mayor que la del cristal único de silicio. Por lo tanto, solo una fina capa de silicio amorfo es suficiente para hacer celdas fotovoltaicas de aproximadamente 1 μm de espesor en comparación con 200 o más micrómetros de espesor para las células de silicio cristalino. Además el silicio amorfo se puede depositar en varios sustratos de bajo costo, incluyendo acero, vidrio y plástico, y el proceso de fabricación requiere temperaturas más bajas y por lo tanto, menos energía de entrada (Tyagi *et al.*, 2012).

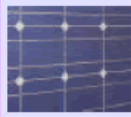
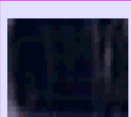
CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Figura 3. Tipos de células y características (Rodríguez de Luis, 2019).

Células solares del grupo III-V

Arseniuro de galio (GaAs). Un semiconductor compuesto hecho de dos elementos: galio (Ga) y arsénico (As), (GaAs) tiene un cristal estructura similar a la del silicio. Una ventaja de (GaAs) es que tiene un alto nivel de absorción a la luz. Su alta resistencia al calor es la elección ideal para sistemas concentradores en que las temperaturas de las celdas son altas (GaAs) también es popular en aplicaciones espaciales donde una fuerte resistencia contra la radiación solar se requiere daño y alta eficiencia celular (Tyagi *et al.*, 2012).

Una alternativa potencial a las células fotovoltaicas de silicio cristalino son células hechas de películas delgadas de polímeros conjugados (semiconductores), que se

puede fundir fácilmente en sustratos flexibles sobre un gran área utilizando técnicas de procesamiento húmedo. Estas células fotovoltaicas orgánicas podrían proporcionar electricidad a un costo menor que células solares de silicio cristalino si una potencia razonable la eficiencia (10 por ciento) y la duración (10 años) podrían ser logrado a gran escala (Coakley y McGehee, 2004).

2.39. Fabricación de celdas solares

La tecnología del Silicio como material de base para la fabricación de células fotovoltaicas, está sujeta a constantes variaciones, experimentando diferencias importantes según los distintos fabricantes. El proceso de fabricación de una célula mono o policristalina se puede dividir en las siguientes fases:

- Primera fase: obtención del silicio

A partir de las rocas ricas en cuarzo (formadas principalmente por óxido de silicio IV, muy abundantes en la naturaleza) y mediante el proceso de reducción con carbono, se obtiene Silicio con una pureza aproximada del 99 por ciento, que no resulta suficiente para usos electrónicos y que se suele denominar Silicio de grado metalúrgico.

La industria de semiconductores purifica este Silicio por procedimientos químicos, normalmente destilaciones de compuestos colorados de Silicio, hasta que la concentración de impurezas es inferior al 0.2 partes por millón. El material así obtenido suele ser llamado Silicio grado semiconductor y aunque tiene un grado de pureza superior al requerido en muchos casos por las células solares, ha constituido la base del abastecimiento de materia prima para aplicaciones solares, representando en la actualidad casi las tres cuartas partes del abastecimiento de las industrias de fabricación de células.

Sin embargo, para usos específicamente solares, son suficientes (dependiendo del tipo de impureza y de la técnica de cristalización), concentraciones de impurezas del orden de una parte por millón. Al material de esta concentración se le suele denominar Silicio grado solar.

Existen actualmente tres posibles procedimientos en distintas fases de experimentación para la obtención del Silicio grado solar, que proporcionan un producto casi tan eficaz como el del grado semiconductor a un coste sensiblemente menor.

- Segunda fase: Cristalización

Una vez fundido el Silicio, se inicia la cristalización a partir de una semilla. Dicha semilla es extraída del silicio fundido, este se va solidificando de forma cristalina, resultando, si el tiempo es suficiente, un monocristal. El Silicio cristalino así obtenido tiene forma de lingotes. También se plantean otros métodos capaces de producir directamente el Silicio en láminas a partir de técnicas basadas en la epitaxia, en crecimiento sobre soporte o cristalización a partir de Si mediante matrices.

Se obtienen principalmente dos tipos de estructuras: una la monocristalina (con un único frente de cristalización) y la otra la policristalina (con varios frentes de cristalización, aunque con unas direcciones predominantes). La diferencia principal radica en el grado de pureza del silicio durante el crecimiento / recristalización.

- Tercera fase: Obtención de obleas

El proceso de corte tiene gran importancia en la producción de las láminas obleas a partir del lingote, ya que supone una importante pérdida de material (que puede alcanzar el 50 por ciento). El espesor de las obleas resultantes suele ser del orden de 2-4 milímetros.

- Cuarta fase: Fabricación de la célula y los módulos

Una vez obtenida la oblea, es necesario mejorar su superficie, presenta irregularidades y defectos debidos al corte, además de retirar de la misma los restos que puedan llevar (polvo, virutas), mediante el proceso denominado decapado. Con la oblea limpia, se procede al texturizado de la misma (siempre para células monocristalinas, ya que las células policristalinas no admiten este tipo de procesos), aprovechando las propiedades cristalinas del Silicio para obtener una superficie que absorba con más eficiencia la radiación solar incidente.

El siguiente paso es la formación de los contactos metálicos de la célula, en forma de rejilla en la cara iluminada por el sol, y continuo en la cara posterior. La formación de los contactos en la cara iluminada se realiza mediante técnicas serigráficas, empleando más reciente mente la tecnología láser para obtener contactos de mejor calidad y rendimiento.

El contacto metálico de la cara sobre la cual incide la radiación solar suele tener forma de rejilla, de modo que permita el paso de la luz y la extracción de corriente simultáneamente.

La otra cara está totalmente recubierta de metal.

Una célula individual normal, con un área de unos 75 cm² y suficientemente iluminada es capaz de producir una diferencia de potencial de 0.4V y una potencia de 1W.

Finalmente, puede procederse a añadir una capa anti reflexiva sobre la célula, con el fin de mejorar las posibilidades de absorción de la radiación solar.

Una vez concluidos los procesos sobre la célula, se procede a su comprobación, previamente a su encapsulado, interconexión y montaje en los módulos.

En cuanto a la eficiencia de las diferentes tecnologías fotovoltaicas se pueden indicar ciertos valores aproximados. Para el caso del Silicio monocristalino ésta se sitúa en, aproximadamente entre un 16 y un 25 por ciento mientras que en el policristalino actualmente es del 12-13 por ciento siendo posible que se eleve a corto plazo en un nivel similar al alcanzado ya para el monocristalino (Rodríguez de Luis, 2019).

Otros posibles materiales para la fabricación de células solares es el Silicio amorfo. Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor, lo cual presenta grandes ventajas. Adicionalmente su proceso de fabricación es, al menos teóricamente, más simple y sustancialmente más barato. La eficiencia es comparativamente algo menor que en los casos anteriores (6-8 por ciento) y todavía no se dispone de datos suficientes en cuanto a su estabilidad. Su principal campo de aplicación en la actualidad son los relojes, juguetes, calculadoras y otras aplicaciones de consumo. Dentro de las aplicaciones energéticas equivalentes a las de la

tecnología del Silicio cristalino, su versatilidad es muy adecuada para la confección de módulos semitransparentes empleados en algunas instalaciones integradas en edificios (Rodríguez de Luis, 2019).

2.40. Funcionamiento de la célula solar

Cuando conectamos una célula solar a una carga y la célula está iluminada, se produce una diferencia de potencial en extremos de la carga y circula una corriente por ella (efecto fotovoltaico). La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos componentes internas de corriente que se oponen.

Estas son:

- Corriente de iluminación: debida a la generación de portadores que produce la iluminación.
- Corriente de oscuridad: debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga (Rodríguez de Luis, 2019)..

Los fotones son los que forman, al romper el enlace, los pares electrón-hueco y, debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula, se separan antes de poder recombinarse formándose así la corriente eléctrica que circula por la célula y la carga aplicada. Algunos fotones pueden no ser aprovechados para la creación de energía eléctrica por diferentes razones:

-Los fotones que tienen energía inferior al ancho de banda prohibida del semiconductor atraviesan el semiconductor sin ceder su energía para crear pares electrón-hueco.

-Aunque un fotón tenga una energía mayor o igual al ancho de banda prohibida puede no ser aprovechado ya que una célula no tiene la capacidad de absorberlos a todos.

-Además, los fotones pueden ser reflejados en la superficie de la célula (Rodríguez de Luis, 2019).

2.41. Paneles o placas fotovoltaicas

Un panel solar está constituido por varias células iguales conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica (Rodríguez de Luis, 2019).

Varias celdas fotovoltaicas conectadas en serie forman un módulo fotovoltaico, algunos módulos fotovoltaicos conectados en serie y en paralelo componen un panel fotovoltaico y un generador fotovoltaico pueden estar compuestos de uno o un par de paneles fotovoltaicos (Rezaee Jordehi, 2016).

2.42. Elementos de un panel solar

- **Cubierta exterior de cara al Sol.** Es de vidrio que debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, alta transmisividad y bajo contenido en hierro.
- **Encapsulante.** De silicona o más frecuentemente EVA (etilen-vinil-acetato). Es especialmente importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al sol, buscándose además un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente.
- **Protección posterior.** Igualmente debe dar rigidez y una gran protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características.
- **Marco metálico.** De Aluminio, que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel. La unión entre el marco metálico y los elementos

que forman el modulo está realizada mediante distintos tipos de sistemas resistentes a las condiciones de trabajo del panel.

- **Cableado y bornas de conexión.** Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.
- **Diodo de protección.** Su misión es proteger contra sobrecargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel (Rodríguez de Luis, 2019).

Los Paneles solares tienen entre 28 y 40 células, aunque lo más típico es que cuenten con 36. La superficie del panel o modulo puede variar entre 0.1 y 0.5 m² y presenta dos bornas de salida, positiva y negativa, a veces tienen alguna intermedia para colocar los diodos de protección. Normalmente, los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12 V, como veremos en la sección dedicada al acumulador (Rodríguez de Luis, 2019).

2.43. Elementos de una placa solar fotovoltaica

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por un cristal o lámina transparente superior y un cerramiento inferior entre los que queda encapsulado el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas. La lámina inferior puede ser transparente, pero lo más frecuente es un es un plástico de tedlar. Para encapsular se suele añadir unas láminas finas y transparentes de EVA (etilvenilacetato) que se funden para crear un sellado anti-humedad, aislante, transparente y robusto (Sebastián, 2019).

2.44. Componentes de un panel solar fotovoltaico

Cubierta de vidrio: Vidrio templado y anti reflejante con cualidades de transmisión de luz a más de 90 por ciento, resistente a la abrasión e impactos de naturaleza “antibalas”. Está cubierta es muy importante porque reduce significativamente el reflejo, de manera que entra más la luz en la célula solar, lo cual se traduce en una mayor conversión de potencia (Sebastián, 2019).

Láminas de plexiglás: Mucho más flexible que el vidrio templado pero considerado como “vidrio orgánico” porque son efectivamente láminas de vidrio polimerizado con resinas y compuestos acrílicos. Tiene propiedades mecánicas de gran estabilidad a los agentes atmosféricos y químicos (Sebastián, 2019).

Marco de aluminio o de acero inoxidable. Se usan tornillos y anclajes para asegurar la rigidez del panel en sí (Sebastián, 2019).

Células solares: El corazón del módulo, coladas en filas y columnas, unos seguidos de otros en grupos por el panel cuya cantidad varía ampliamente por la naturaleza y objetivos a rendir su energía desde un simple cargador de pilas de 1.5 V hasta mega producciones tanto en forma independiente como formando parte de las redes eléctricas convencionales. Comercialmente los más usados actualmente son los de 3 pulgadas por 6 pulgadas y los de 6 pulgadas por 6 pulgadas, siendo su espesor alrededor de los 300 micrones (0.012 pulgadas aproximadamente) y resistencia frágil a los golpes (Sebastián, 2019).

Las células solares están hechas de un material químico que abunda en la corteza terrestre conocido como silicio (Si). El silicio es un elemento químico que se encuentra en la naturaleza formando grupo con el carbono, germanio y el estaño, y es considerado como no metálico. Este silicio no está libre en la tierra. Se encuentra como óxidos en formas de cuarzos llamados: amatista, cuarzo o simplemente cristal de roca. También está en el sílice (SiO_2) conocido comúnmente como arena. El silicio en las células solares actúa como fuente de fotoelectrones, y proporciona el campo eléctrico para separar las cargas y crear una corriente. En la superficie de la celda dirigida hacia el sol la más alta radiación solar incidente promedio es de 1000 W/m^2 (Sebastián, 2019).

Plancha base. Consisten en una simple estructura en forma de caja de fondo que puede ser de madera, de aluminio o de vidrio cuyo tamaño varía acorde al número y tamaño de células. Sobre esta plancha descansan las células pegadas perfectamente con silicona el mismo que es un perfecto sellador para evitar ingreso de aire, agua o partículas en suspensión incluso menores al tamaño M10 hacia el grupo de las células mencionadas (Sebastián, 2019).

Salida a tierra. Para estar preparados para adversidades atmosféricas sobre todo cuando se instalen más módulos de mayor potencia (Sebastián, 2019)

Caja de terminales. Pequeña caja que va asegurada en la parte posterior del panel y cuenta con bornes de salida para la conexión del panel con otros como batería, regulador o carga directa de consumo. Es usado para corriente eléctrica derivada producida por el panel dónde está asegurada y debe ser resistente a cambios de clima rigurosos (Sebastián, 2019).

Diodos de protección. Protectores de los paneles, para que el flujo de corriente eléctrica se dirija solo en una dirección (Sebastián, 2019).

2.45. Tipos de paneles

Paneles con sistemas de concentración: mediante una superficie reflectante se concentra la luz, para que incida una cantidad concentrada de fotones en los paneles y de esta forma producir más electricidad en la misma superficie (EnergíaSolarTérmica, 2019).

Paneles de formato “teja o baldosa”: son pequeños paneles ideados para integrarse en tejados o grandes superficies, de forma que combinando muchos de ellos se consiga cubrir la demanda de electricidad necesaria (EnergíaSolarTérmica, 2019).

Paneles bifaciales: Los paneles bifaciales aprovechan la radiación directa difusa y también la reflejada ya que tienen dos caras por las cuales pueden recibir las radiaciones solares, gracias a estas características pueden producir hasta un 50 por ciento más que el resto de los paneles solares (EnergíaSolarTérmica, 2019).

Su uso para integrarse con la arquitectura es amplio, pueden usarse como tejado para un patio, parkings en forma de claraboyas o en fachadas para aprovechar la luz reflejada y de paso hacen sombra en espacios que necesitemos (EnergíaSolarTérmica, 2019).

2.46. Mantenimiento de la instalación

Las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de los paneles solares:

- a) plan de vigilancia
- b) plan de mantenimiento preventivo.

Plan de vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales (energía, tensión etc.) para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, incluyendo la limpieza de los módulos en el caso de que sea necesario.

2.47. Plan de mantenimiento preventivo

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar fotovoltaica y las instalaciones eléctricas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil. Jaime Martínez Romero El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una revisión semestral en la que se realizarán las siguientes actividades:

- a) Comprobación de las protecciones eléctricas;
- b) Comprobación del estado de los módulos: comprobar la situación respecto al proyecto original y verificar el estado de las conexiones;
- c) Comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc;

d) Comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornas), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza (Martínez Romero).

2.48. Montaje de los paneles solares

El dimensionamiento de paneles fotovoltaicos tiene una serie de consideraciones debido al montaje de estos, puesto que se debe asegurar la máxima captación de radiación sin interferencia de sombras. Entre los factores a considerar se tiene:

- **Inclinación:** la radiación debe incidir perpendicularmente sobre el panel, pero la inclinación de la radiación varía respecto de la estación del año y la hora del día.

En las instalaciones con paneles fijos, se busca la inclinación en la que la potencia media anual sea la óptima, la cual generalmente es la latitud del lugar de instalación (Sepúlveda Ramírez, 2014).

Para prevenir la formación de sombras entre paneles se debe considerar que la distancia mínima entre las líneas de captación sea tal que al mediodía solar del día menos favorable (altura solar mínima), la sombra de la arista superior se proyecte como máximo en la arista inferior de la fila siguiente (Sepúlveda Ramírez, 2014).

2.49. Reciclaje de paneles

La mayor parte de los paneles fotovoltaicos puede ser tratada. Gracias a las innovaciones tecnológicas que se han desarrollado en los últimos años, se puede recuperar hasta el 95 por ciento de ciertos materiales semiconductores y el vidrio, así como grandes cantidades de metales ferrosos y no ferrosos utilizados en los módulos. Algunas empresas privadas y organizaciones sin fines de lucro, como por ejemplo PV CYCLE en la Unión Europea, están actualmente trabajando en las operaciones de recogida y reciclaje de paneles al final de su vida útil. (Ospino y Isaza, 2016).

Dos de las soluciones de reciclaje más comunes son:

Paneles de silicio: Los marcos de aluminio y las cajas de conexión son desmantelados manualmente al comienzo del proceso. El panel se tritura y las diferentes fracciones se separan vidrio, plásticos y metales. Es posible recuperar más de 80 por ciento del peso entrante y, por ejemplo, el cristal mixto extraído es fácilmente aceptado por la industria de la espuma de vidrio el aislamiento. Este proceso puede ser realizado por los recicladores de vidrio plano ya que la morfología y composición de un panel fotovoltaico es similar al cristal plano utilizado en la industria de la construcción y del automóvil.

Paneles de otros materiales: Hoy en día contamos con tecnologías específicas para el reciclaje de paneles fotovoltaicos que no contienen silicio, algunas técnicas utilizan baños químicos para separar los diferentes materiales semiconductores. Para los paneles de telurio de cadmio, el proceso de reciclaje empieza por aplastar el módulo y, posteriormente, separar las diferentes partes. Este proceso de reciclaje está diseñado para recuperar hasta un 90 por ciento del vidrio y 95 por ciento de los materiales semiconductores. En los últimos años, algunas empresas privadas han puesto en marcha instalaciones de reciclaje a escala comercial (Ospino y Isaza, 2016).

2.50. Medio ambiente

2.50.1. El efecto invernadero

Sin nuestra atmósfera, la temperatura media de la Tierra sería de unos -18 grados celcius y no los 15 grados celcius actuales. Toda la luz solar que recibimos alcanzaría la superficie terrestre y simplemente volvería, sin encontrar ningún obstáculo, al vacío.

La atmósfera aumenta la temperatura del globo terrestre unos 30 grados celcius y permite la existencia de océanos y criaturas vivas como nosotros.

Gracias a nuestra atmósfera, sólo una fracción de ese calor vuelve directamente al espacio exterior. El resto queda retenido en las capas inferiores de la atmósfera, que contienen gases (vapor de agua, CO₂, metano CH₄ y otros) que absorben los rayos infrarrojos emitidos. A medida que estos gases se calientan, parte de su calor vuelve a la superficie terrestre. Todos ellos actúan como una gran manta que impiden que salga el calor. Todo este proceso recibe el nombre de efecto invernadero.

La energía solar llega a la Tierra en forma de radiación de longitud de onda corta (radiación ultravioleta), al tomar contacto con el suelo se refleja una parte, siendo el resto absorbido por éste. La radiación absorbida vuelve a la atmósfera en forma de calor, que es una radiación de longitud de onda larga (radiación infrarroja).

Al viajar hacia la atmósfera se encuentra con los mismos gases, que si bien antes dejaban pasar libremente a las radiaciones de onda corta, actúan de freno a las de onda larga, devolviéndola otra vez a la Tierra, evitando que la energía escape hacia el exterior y calentando más el resto del planeta. Cuanto mayor sea la concentración de esos gases, mayor es la energía devuelta hacia el suelo y, por tanto, mayor el calentamiento de la superficies (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

En los últimos decenios, se ha producido en la atmósfera un sensible incremento de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero. Según estudios realizados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático reunido por la ONU) alrededor de tres cuartas partes de las emisiones de CO₂ antropogénicas (producidas por la actividad humana) que se han producido en los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles fósiles. El resto se debe, sobre todo, a la deforestación. En la actualidad, los océanos y los suelos están absorbiendo aproximadamente la mitad de estas emisiones; a pesar de lo cual las concentraciones atmosféricas de CO₂ se han incrementado un 31 por ciento desde 1750 al año 2000, y han pasado de 280 partes por millón (ppm) a casi 370 ppm en el año 2000 (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

2.50.2. El cambio climático

El sector energético es la fuente más importante de gases de efecto invernadero. Los principales gases producidos son el CO₂ y el CH₄ derivados de la quema de combustibles fósiles, así como el de las minas de carbón, y de las instalaciones de hidrocarburos y gas. Los sectores transformadores producción de electricidad y refino tienen una contribución al efecto invernadero del 30 por ciento. (MadridSolar, 2006).

Las investigaciones del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ponen de manifiesto que las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de

efecto invernadero de origen humano, elevarán la temperatura media mundial entre 1.4 y 5.8 grados centígrados para finales de siglo. Dichos gases influirán también en las pautas meteorológicas, los recursos hídricos, los ciclos de las estaciones, los ecosistemas y los acontecimientos climáticos (MadridSolar, 2006).

Algunas de las consecuencias más palpables del cambio climático se encuentra el deshielo de parte de los casquetes polares, lo cual provoca un ascenso del nivel del mar, generando innumerables catástrofes en todo el mundo debido a la inundación de amplias zonas costeras con el consiguiente coste humano y económico, además del aumento de las sequías y la pérdida de muchos ecosistemas que no podrían adaptarse a un cambio tan rápido. Otra de las consecuencias sería la salinización del agua dulce de los acuíferos al penetrar el mar tierra adentro (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

El calentamiento global, los gases de efecto invernadero y el deterioro de la calidad de vida del ser humano a causa del impacto generado por la contaminación producida por el sector industrial son problemas que requieren de medidas a corto y mediano plazo para solucionarlos. Entre las soluciones que se han propuesto e implementado durante los últimos 20 años a nivel mundial es la generación de la energía demandada por los sectores residencial, comercial e industrial a partir de fuentes no convencionales y de carácter renovable que contribuyan significativamente con la disminución de emisiones nocivas para el medio ambiente (Bitar S y Chamas B, 2017).

El calentamiento global se ha convertido en uno de los principales desafíos que enfrenta el mundo hoy en día. Las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, intensifican el cambio climático debido al gas de efecto invernadero (GEI). El uso de la energía renovable puede ayudar a mitigar los efectos adversos del cambio climático y la contaminación del medio ambiente. Puesto que las tecnologías renovables son todavía relativamente nuevo, los esfuerzos de investigación y desarrollo destinados a su posterior explotación requieren importantes inversiones (Lam y Law, 2016).

A nivel mundial, la mayor parte de la energía consumida se dedica a la producción de electricidad y al transporte, este sector tiene una tendencia al alza, creciendo porcentualmente cada año, el resto del consumo se distribuye entre el sector doméstico y los sectores productivos (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008). Las cuestiones ambientales de la utilización de fuentes de energía convencionales también han creado graves preocupaciones sobre las emisiones de dióxido de carbono que contribuye al problema del calentamiento global (Chaianong y Pharino, 2015). La producción, transformación y consumo final de tal cantidad de energía es la causa principal de la degradación ambiental. El consumo está muy desigualmente repartido, pues los países de la OCDE organización para la cooperación el desarrollo económicos, con el 15 por ciento de la población mundial, consumen el 60 por ciento de la energía, factor este último a tener en cuenta a la hora de repartir responsabilidades de la crisis ambiental (Santamarta, 2004).

El GEI más común es el dióxido de carbono (CO₂) y dos fuentes mundiales más grandes de gases de efecto invernadero son la electricidad y el calor (32 por ciento) y el transporte (17 por ciento). Actividades de las empresas del sector servicios contribuyen a estas fuentes a través del uso de la electricidad, calefacción, refrigeración y de viaje. También pueden contribuir a otras fuentes de emisión de CO₂ mundial de gran tamaño como el cambio de uso del suelo y silvicultura (24 por ciento) y la manufactura y la construcción (13 por ciento). Un cierto grado de calentamiento global es en realidad fundamental; de lo contrario este planeta sería demasiado frío para mantener la vida. Sin embargo, el gran tonelaje de gas CO₂ que hemos liberado a la atmósfera parece probable que alterar el equilibrio natural (Solangi *et al.*, 2011). La cantidad absoluta de gases de efecto invernadero antropogénicos emitidos anualmente (GEI) también ha aumentado de forma constante durante la década anterior. Si se retrasan los esfuerzos de mitigación, el logro de bajas emisiones a más largo plazo se vuelve más difícil, y se estrechan las opciones de mitigación (Breyer *et al.*, 2015).

Las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indican que más de 2 millones de muertes prematuras causadas por la contaminación del aire en los

países en desarrollo, donde la mitad de ellos son niños de 5 años o menos y todos ellos presentaban síntomas de la neumonía (Khodakarami y Ghobadi, 2016).

El mayor impacto medioambiental de la generación de electricidad en la actualidad es la emisión de CO₂ por parte de las centrales que consumen combustibles fósiles (carbón, gas, fuel) (Collado Fernández, 2009). Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el calentamiento global continuará aumentando a menos que haya un cambio rápido hacia la energía limpia y los recortes en la emisión de CO₂ (Hosenuzzaman *et al.*, 2015).

Un desarrollo sostenible sería “aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Sin embargo el sistema energético actual está agotando los recursos naturales, contribuye al efecto invernadero, contaminación y riesgos en la paz mundial (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

El sistema energético actual está fundamentalmente basado en los combustibles fósiles. El ritmo de consumo es tal que en un año la humanidad consume lo que la naturaleza tarda un millón de años en producir, por lo que el posible agotamiento de las reservas existentes es una realidad que no admite discusión.

La posibilidad de agotamiento del petróleo y del gas natural será una realidad en el plazo de 1 ó 2 generaciones.

Las reservas de carbón son menos limitadas (y menos aún si se incluyen los carbones de muy mala calidad). Sin embargo, este combustible es altamente contaminante, de forma que su utilización estará condicionada al desarrollo de tecnologías más limpias para la quema del carbón.

Actualmente se están produciendo tensiones en los precios del petróleo, ante la falta de capacidad mundial de mantener el ritmo de crecimiento de la producción que sería necesario para satisfacer la demanda (Schallenberg Rodríguez *et al.*, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en un inmueble particular ubicado en Torreón Coahuila durante algunos días del año 2018 con el objetivo de generar energía eléctrica con el aprovechamiento de la energía solar mediante un sistema aislado a la red.

3.1. Datos generales.-

Localización: Torreón, Coahuila.

Coordenadas: 25°32'40"N 103°26'33"O

Coordenadas de Torreón en grados decimales

Latitud:25.5438900°

Longitud:-103.4189800° (DATEANDTIME.INFO, 2019).

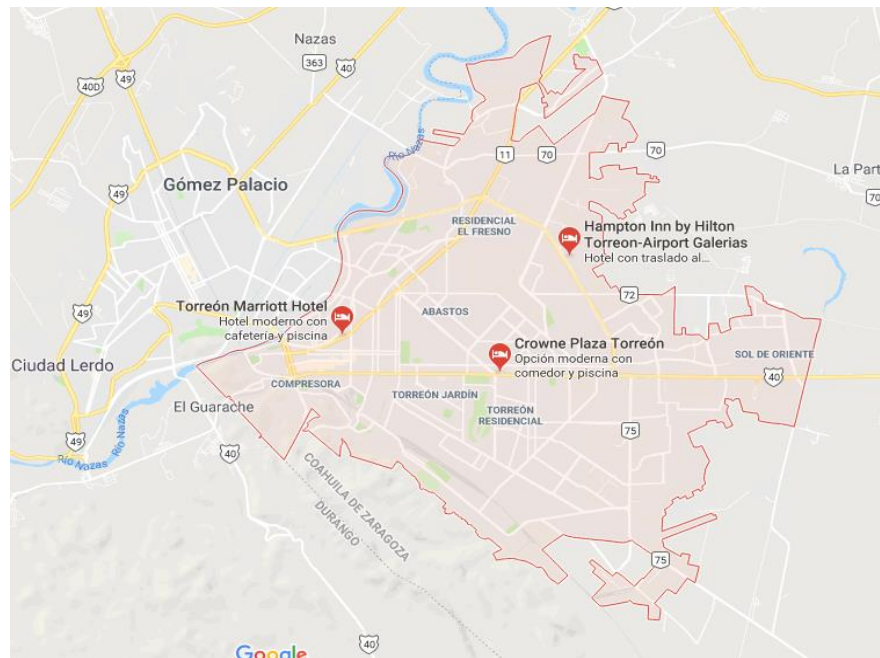


Figura 4. Mapa de Torreón, Coahuila (INEGI, 2019).

3.2. Clima:



Figura 5. Mapa de Coahuila sus climas (Google, 2010).

Temperatura media anual: 25.1

Temperatura máxima media anual: 33

Temperatura mínima media anual: 16.3

Precipitación total anual de lluvia y/o nieve derretida: 279.39 mm

Velocidad media anual del viento en km/h: 7.0

Total de días con lluvia durante el año: 60

Total de días que nevó durante el año: 1

Total de días con tormenta durante el año: 14

Total de días con niebla durante el año: 0

Total de días con granizo durante el año: 0

Fuente: (TuTiempo.net, 2019).

3.3. Consumo energético.-

3.3.1. Cargos por energía consumida.

Consumo básico \$0.793 por cada uno de los primeros 75 kW/h.

Consumo intermedio \$0.956 por cada uno de los siguientes 65 kW/h.

Consumo excedente \$2.802 por cada kW/h adicional a los anteriores (CFE., 2018).

3.4. Materiales y equipo.

3.4.1. Materiales y costos

El material que se empleó para la realización de este proyecto fue:

Cuadro 2. Materiales y costos

Material	Especificaciones	Costo M/N
	Panel solar: 70 celdas Wattaje máximo (Pmp): 10 W Voltaje máximo (Vmp): 17.2 V Corriente a Pmax (Imp): 0.58 A	\$700.00

Panel solar	<p>Voltaje a circuito abierto (Voc): 21.8 V</p> <p>Corriente de corto circuito (Isc): 0.65 A</p> <p>Voltaje máximo en sistema: 1000 V</p> <p>Peso:1.43 kg</p> <p>Dimensiones: 330 x 290 x 28 mm</p> <p>Standard test condition: AM=1.5 E= 1000 w/m2 Tc= 25 °C</p> <p>Cableado de 2 mts</p>	
Controlador	<p>Reg Mod 25 W</p> <p>Voltaje in: 35 V</p> <p>Voltaje out: 13 V</p>	\$100.00
Batería	<p>12 V</p> <p>18.0 amp. Hr.</p> <p>Temperatura máxima: 60 °C</p>	\$930.00
Lámpara led	<p>Entrada: 127 V 50/60 Hz</p> <p>Potencia: 18 W</p> <p>Corriente: 2 A</p> <p>TCC: 6500 °K</p> <p>Consumo de energía: 18 W/h</p>	\$75.00
Inversor	<p>Potencia continua máxima: 200 W</p> <p>Potencia de pico: 400 W</p> <p>Consumo de corriente sin carga: 0.3 A</p> <p>Rango de voltaje de entrada: 11-15 V</p> <p>Salida CA: enchufe a tierra de 3 clavijas de 115 V CA</p> <p>Puerto USB : 5 V 500 mA</p> <p>Fusible: 25 amp x 1</p> <p>Dimensiones: 180 x 97 x 53 mm</p> <p>Peso: 522 g</p>	\$900.00
Multímetro	Marca UNI-T mod UT33A	\$300.00
	Total:	\$3005.00

3.5. Materiales.-



Figura 6. Fotografía de panel solar.



Figura 7. Fotografía de batería 12 V.



Figura 8. Fotografía de inversor.



Figura 9. Fotografía de inversor toma frontal.



Figura 10. Fotografía de multímetro.



Figura 11. Fotografía de regulador.



Figura 12. Fotografía de lámpara led.



Figura 13. Fotografía de lámpara led de cerca.

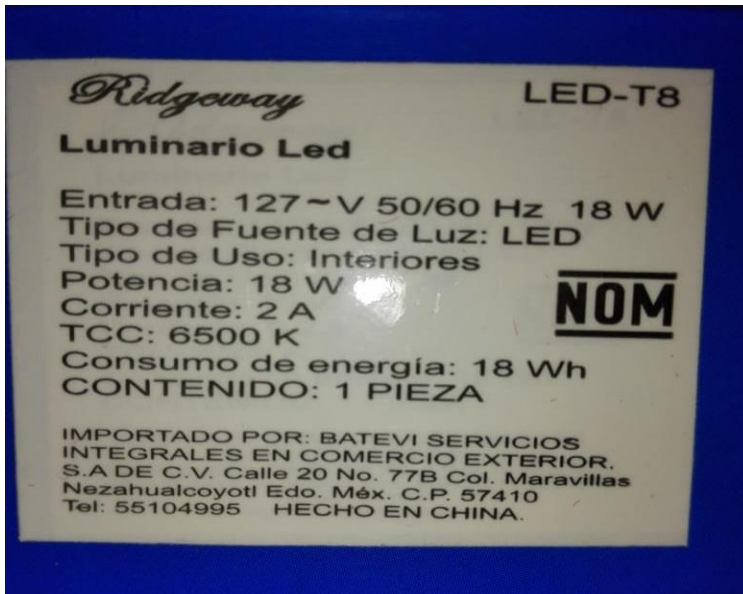


Figura 14. Fotografía de especificaciones de lámpara led.

3.6. Descripción del sistema.-

El sistema fotovoltaico aislado de la red es un sistema que funciona autónomamente es decir sin necesidad de estar conectados a la red eléctrica, la energía generada por el panel solar se almacena en un acumulador y esta se utiliza con un inversor para poder alimentar aparatos que funcionan con corriente alterna.

3.7. Procedimiento.

Instalación del sistema:

La instalación consiste en colocar el o los paneles en techos o lugares donde reciba radiación solar la mayor parte del día.

*Se debe cerciorar que no existan edificios, árboles o cualquier cosa que cuente con altura que impida el paso de la radiación solar.

El panel se colocó en el patio de un inmueble que al momento de la experimentación no contaba con edificios, construcciones, árboles o algo que generara sombra e impidiera un óptimo aprovechamiento de la radiación solar para la generación de energía con nuestro panel.

En esta región Torreón, Coahuila, México, el panel se debe colocar de manera horizontal con una inclinación de un ángulo de 25° en posición frontal hacia el este para recibir la mayor cantidad de radiación durante las horas de sol.

El cableado saliente del panel se conectó a un regulador de carga que es el encargado de mantener un voltaje controlado y así evita que se produzcan sobrecargas o descargas que afecten o disminuyan la vida útil de la batería, en este caso (12 V).

La batería es la que almacena la energía producida por el panel solar.

Seguido a la batería se conecta el inversor que es el encargado de convertir la energía acumulada en la batería 12 V de corriente directa a 115 W de corriente alterna, para poder alimentar aparatos eléctricos de bajo consumo o que no excedan la capacidad de la batería (12 V y 18 Ah), el inversor de 115 watts y la lámpara led de 18 Watts.



Figura 15. Fotografía de sistema funcionando

3.8. Proceso experimental.-

Utilizamos una batería de 12 V y 18.0 Ah, descargada a un nivel que no hace posible el funcionamiento del inversor de energía ya que este solo funciona con parámetros mayores a 10.25 V.

No forzamos a una mayor descarga porque la batería podría sufrir daños irreparables o disminuir su vida útil, ya que en las especificaciones no menciona ser apta para una descarga profunda.

Con ayuda de un multímetro medimos la carga que tiene en ese momento la batería.

Colocamos el panel con dirección de la cara frontal al este, dirección donde sale el sol, a 25 grados de ángulo de inclinación, con el regulador de carga ya conectado y en seguida conectamos la batería.

Establecemos tiempos para toma de datos, en este caso cada 30 minutos.

Cada 30 minutos revisamos el avance en la carga, esto desconectando el panel de la batería primero, ya que si no es desconectada la medición que se observará será la potencia que está produciendo el panel en ese momento.

Después de tomar la medida volvemos a conectar el panel y revisamos pasados otros 30 minutos ya así continuamente hasta obtener la medición de potencia más alta sin aumento.

Tras varias repeticiones en este caso 5 es posible hacer un cálculo para establecer un promedio de tiempo en minutos, de carga de la batería.

Con la batería cargada desconectada del panel de manera independiente, podemos medir la duración del funcionamiento en tiempo, usando un inversor de energía directa a alterna utilizando un aparato que para funcionar requiere electricidad, en este caso una lámpara led de 18 watts, recordando que este aparato inversor funciona con una mínima de 10.25 V de energía en la batería. El inversor suena para avisar un bajo voltaje antes de apagarse.

Tras varias repeticiones en este caso 5 es posible hacer un cálculo para establecer un promedio de tiempo en minutos, de duración funcional, lámpara encendida.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Tiempo de recarga de batería

Cuadro 3. Muestra 1

Muestra 1							
Fecha	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
16/03/2018	10.20 V	11.82 V	12.26V	12.47 V	12.50 V	12.55V	12.56 V

Cuadro 4. Muestra 2

Muestra 2							
Fecha	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
24/03/2018	10.25 V	11.64 V	12.33 V	12.50 V	12.55 V	12.56 V	12.56 V

Cuadro 5. Muestra 3

Muestra 3							
Fecha	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
30/03/2018	10.22 V	11.54 V	12.42 V	12.53 V	12.55 V	12.58 V	12.60 V

Cuadro 6. Muestra 4

Muestra 4							
Fecha	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
13/04/2018	10.25 V	11.49 V	12.38 V	12.48 V	12.52 V	12.54 V	12.55 V

Cuadro 7. Muestra 5

Muestra 5							
Fecha	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
20/04/2018	10.32 V	10.98 V	11.87 V	12.51 V	12.53 V	12.56 V	12.56 V

Según estas tablas podemos observar que el multímetro registra la medición de potencia más alta en 12.56 V pasados de 150 a 180 minutos lo equivalente a 2.5 a 3 horas.

Esto quiere decir que la batería se recarga en 3 horas de radiación solar con nuestro panel.

4.2. Duración de batería cargada en funcionamiento

Muestra 1

Cuadro 8. Muestra 1

Hora y fecha	Voltaje de Batería	Voltaje de batería Con inversor	Tiempo transcurrido
13:00 17/03/18	12.51 V	11.41 V	0 MIN
14:00 17/03/18	11.90 V	10.89 V	60 MIN
14:40 17/03/18	11.60 V	10.24 V	100 MIN

Muestra 2

Cuadro 9. Muestra 2

Hora y fecha	Batería	Con inversor	Tiempo
23:00 25/03/18	12.41 V	11.81 V	0 MIN
00:00 25/03/18	11.86 V	10.79 V	60 MIN
00:30 25/03/18	11.65 V	10.23 V	90 MIN

Muestra 3

Cuadro 10. Muestra 3

Hora y fecha	Batería	Con inversor	Tiempo
20:00 31/03/18	12.51 V	12.02 V	0 MIN
21:00 31/03/18	11.88 V	10.76 V	60 MIN
21:40 31/03/18	11.57 V	10.23 V	100 MIN

Muestra 4

Cuadro 11. Muestra 4

Hora y fecha	Batería	Con inversor	Tiempo
22:00 14/04/18	12.43 V	11.87 V	0 MIN
23:00 14/04/18	11.85 V	10.83 V	60 MIN
23:30 14/04/18	11.63 V	10.25 V	90 MIN

Muestra 5

Cuadro 12. Muestra 5

Hora y fecha		Batería	Con inversor	Tiempo
21:00	21/04/18	12.48 V	12.25 V	0 MIN
22:00	21/04/18	11.90 V	10.76 V	60 MIN
22:35	21/04/18	11.58 V	10.22 V	95 MIN

*** Alarma sonora indicando bajo voltaje. ***

*** Apagado automático, voltaje insuficiente. ***

Los Watts consumidos por hora los obtenemos multiplicando el tiempo transcurrido por los watts que requiere el aparato eléctrico (lámpara Led de 18 watts) más lo que consume el inversor que según sus especificaciones es 0.3 A.

Fórmula de voltios-amperios a vatios (va a w).

$W = va * 1$ (AdvancedConverter, 2019).

$W = 0.3 * 1$ $W = 0.3$

Cuadro 13. Datos de muestras.

Muestra	(V) Consumido en batería	(V) consumido con inversor	Tiempo transcurrido	Watts consumidos
Muestra 1	0.91 V	1.17 V	1.66 h	<u>29.88+0.3</u> <u>=30.18 W/h</u>
Muestra 2	0.76 V	1.58 V	1.5 h	<u>27+0.3</u> <u>=27.3 W/h</u>
Muestra 3	0.94 V	1.79 V	1.66 h	<u>29.88+0.3</u> <u>=30.18 W/h</u>
Muestra 4	0.80 V	1.62 V	1.5 h	<u>27+0.3</u> <u>=27.3 W/h</u>
Muestra 5	0.90 V	2.03	1.58 h	<u>28.44+0.3</u> <u>=28.74 W/h</u>

4.3. Cálculos costo electricidad.

Para calcular el costo de la electricidad multiplicamos los watts consumidos (W/h) por el precio establecido por la compañía de luz (CFE).

Consumo básico \$0.793 (kWh) = \$0.000793 Wh.

Cuadro 14. Costo electricidad.

Muestra	Watts consumidos	Tarifa costo eléctrico	\$
1	30.18 W/h	\$0.000793 Wh.	0.02393274
2	27.3 W/h	\$0.000793 Wh.	0.0216489
3	30.18 W/h	\$0.000793 Wh.	0.02393274
4	27.3 W/h	\$0.000793 Wh.	0.0216489
5	28.74 W/h	\$0.000793 Wh.	0.02279082

A simple vista es notorio el bajo ahorro económico generado, no obstante continúa siendo un ahorro y hay que considerar la escala del material generador utilizado. Con un uso eficiente de tecnología y mayor presupuesto es posible generar más energía y así ahorrar un monto significativo económicamente hablando.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo planteado, con la metodología utilizada y con los resultados obtenidos se puede concluir:

1. Es posible la generación de energía fotovoltaica aislada de la red para iluminación
2. El sistema de generación de energía solar no fue económico en este momento por el costo actual de los equipos de generación fotovoltaica
3. Una limitante para la generación de energía con esta modalidad es la adquisición de paneles de grandes dimensiones que restringe su uso a pequeña escala.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adham, M., O. Siddig y S. Hisham 2015. "Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance." ELSEVIER 41: 658-684.
- AdvancedConverter 2019. Formula de voltios, amperios a vatios.
- Asociación de Empresas de Energías Renovables, A. 2019. ¿Qué es la energía fotovoltaica?
- Bitar S, S. M. y F. Chamas B 2017. Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía en el sector industrial de Colombia. Bogotá, Colegio de Estudios Superiores de Administración CESA
- Blanco Sardinero, I. 2009. Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior.
- Breyer, C., O. Koskinen y P. Blechinger 2015. "Profitable climate change mitigation: The case of greenhouse gas emission reduction benefits enabled by solar photovoltaic systems." ELSEVIER 49: 610-628.
- CFE., C. 2018. Tarifa de consumo energetico.
- Coakley, K. M. y M. D. McGehee 2004. "Conjugated Polymer Photovoltaic Cells." American Chemical Society 16: 4533-4542.
- Collado Fernández, E. 2009. Energía solar fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos., Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Chaianong, A. y C. Pharino 2015. "Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand." ELSEVIER 48: 356-372.
- DATEANDTIME.INFO 2019. Coordenadas geográficas de Torreón, México.
- Díaz Romero, R. 2015. Energía eléctrica sostenible a través de la energía solar térmica. México. , Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- ELSEVIER. 2013. "Network approach to modeling and simulation of solar photovoltaic cell." ELSEVIER 21: 84-88.
- EnergíaSolar.mx 2019. Historia de la Energía Solar
- EnergíaSolarTérmica 2019. Paneles bifaciales
- Florián Martínez, E. R. 2015. Estudio de factibilidad para el uso de energía solar, como alternativa energética, en la industria guatemalteca. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala
- González Brañas, I. 2015. Perspectivas de la energía solar fotovoltaica en la edificación. Departamento de ingeniería de organización, administración de empresas y estadísticas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía
- Google 2010. Mapa de tipos de climas de Coahuila.
- Gutiérrez Bernal, M. A. 2014. Aplicación de la tecnología fotovoltaica de capa fina en empresas del sector logístico., Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona
- Hosenuzzaman, M., N. A. Rahim, J. Selvaraj, M. Hasanuzzaman, A. B. M. A. Malek y A. Nahar 2015. "Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation." ELSEVIER 41: 284-297.
- INEGI 2019. Mapa de Torreón Coahuila.
- Kannan, N. y D. Vakeesan 2016. "Solar energy for future world: A review." ELSEVIER 62: 1092-1105.
- Khodakarami, J. y P. Ghobadi 2016. "Urban pollution and solar radiation impacts." ELSEVIER 57: 965-976.
- Lam, P. T. I. y A. O. K. Law 2016. "Crowdfunding for renewable and sustainable energy projects: An exploratory case study approach." ELSEVIER 60: 11-20.

- Lin Lu, J. P. y H. Yang 2013. "Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems." ELSEVIER 19: 255-274.
- Long, S. y L. C. Michael Yit 2012. "A review on sustainable design of renewable energy systems." ELSEVIER 16: 192-207.
- López Sánchez, Ó. 2016. Guía de aplicación de energía solar como alternativa de energía renovable en embarcaciones de recreo Universitat Politècnica de Catalunya
- Luthra, S., S. Kumar, D. Garg y A. Haleem 2015. "Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective." ELSEVIER 41: 762-776.
- Macancela Zhumi, L. G. 2012. Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa ii Etsari. Facultad de ingeniería escuela de ingeniería eléctrica
Universidad de Cuenca
- MadridSolar 2006. "Guía de la Energía Solar." CajaMadrid.
- Martínez Romero, J. Proyecto técnico de energía solar fotovoltaica conectada a la red, Universidad Politècnica de Valencia.
- Muhaimin Ismail, A., R. Ramirez-Iniguez, M. Asif, A. Bakar Munir y F. Muhammad-Sukki 2015. "Progress of solar photovoltaic in ASEAN countries: A review." ELSEVIER 48: 399-412.
- Muhammad-Sukki, F., A. Bakar Munir, R. Ramirez-Iniguez, S. H. Abu-Bakar, S. H. Mohd Yasin, S. G. McMeekin y B. G. Stewart 2012. "Solar photovoltaic in Malaysia: The way forward." ELSEVIER 16: 5232-5244.
- Olvera Miranda, J. X. y L. C. Montalvo Yagual 2015. Análisis y diseño de una planta de generación de energía eléctrica con paneles solares fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica de la subestación santa ana ubicada en guayaquil. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Ospino, V. M. y L. Isaza 2016. Manual de implementación de energía solar fotovoltaica en viviendas "ECO". Facultad de ingeniería programa de especialización en gerencia de obras, Universidad Católica de Colombia
- Phillips, J. 2013. "Determining the sustainability of large-scale photovoltaic solar power plants." ELSEVIER 27: 435-444.
- Ramos Pires Manso, J. y N. Bashiri Behmiri 2013. "Renewable Energy and Sustainable Development." Redalyc 31: 7-33.
- Rezaee Jordehi, A. 2016. "Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review." ELSEVIER 61: 354-371.
- Rodríguez de Luis, L. 2019. I+D en Energía Solar y Automática. G. idea
- Santamarta, J. 2004. Las energías renovables son el futuro. World Watch34-40
- Sarver, T., A. Al-Qaraghuli y L. L. Kazmerski 2013. "A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches." ELSEVIER 22: 698-733.
- Schallenberg Rodríguez, J. C., G. Piernavieja Izquierdo, C. Hernández Rodríguez, P. Unamunzaga Falcón, R. García Déniz, M. DíazTorres, D. Cabrera Pérez, G. Martel Rodríguez, J. Pardilla Fariña y V. Subiela Ortin 2008. Energías renovables y eficiencia energética. S. A. InstitutoTecnológico de Canarias
- Sebastián, E. 2019. Elementos con panel solar fotovoltaico.

- Sepúlveda Ramírez, F. J. 2014. Evaluación del uso de energía solar en electro obtención de cobre Departamento de ingeniería de minas. Santiago de Chile, Universidad de Chile
- Sharma, V. y S. S. Chandel 2013. "Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review." ELSEVIER 27: 753-767.
- Solangi, K. H., M. R. Islamb, R. Saidur, N. A. Rahimb y H. Fayaz 2011. "A review on global solar energy policy." ELSEVIER 15: 2149-2163.
- Spanggaard, H. y F. C. Krebs 2004. "A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics." ELSEVIER 83: 125-146.
- TuTiempo.net 2019. Clima Torreon, Coah. Datos climáticos: 1949 - 2018
- Tyagi, V. V., S. C. Kaushika y S. K. Tyagi 2012. "Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology." ELSEVIER 16: 1383-1398.
- Vázquez Guzmán, F., A. Vázquez Aguilar, L. E. Olguín Gil, E. Vázquez Zayas, F. Román Joaquín y J. C. López Hernández 2016. Monitoreo de fuente de energía solar. Instituto Tecnológico de Celaya, Tecnológico Nacional de México. 121
- Vélez Sarmiento, J. A. y J. A. Figueroa Quimbayo 2015. Diseño de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar fotovoltaica en la urbanización valle del sol Facultad Ingeniería Tecnología en Electrónica Cundinamarca., Corporación universitaria minuto de dios
- Verma, D., S. Nema, A. M. Shandilya y S. K. Dash 2016. "Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems." ELSEVIER 54: 1018-1034.
- Zhao, Z.-y., S.-Y. Zhang, B. Hubbard y X. Yao 2013. "The emergence of the solar photovoltaic power industry in China." ELSEVIER 21: 229-236.