



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMO
ESQUEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
ÁREA: ELÉCTRICA – ELECTRÓNICA

PRESENTA:

EZEQUIEL DOMÍNGUEZ YÁÑEZ

ASESOR: M. EN C. RODRIGO OCÓN VALDEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Soli Deo Gloria. Gracias a Dios por que llegué a una meta muy importante en mi vida, me permitió llegar a pesar de las dificultades y adversidades que se presentaron, pero así también con muchas fuerzas y gran gozo; concluyo una etapa y comienzo una nueva, confiando en que él siempre estará conmigo. Isaías 40:31.

A la *Universidad Nacional Autónoma de México*, que me abrió las puertas a la educación y al conocimiento desde octubre de 2002; a la *Facultad de Estudios Superiores Aragón* y al *Colegio de Ciencias y Humanidades Vallejo* que fueron los recintos donde tuve mi formación académica, y aprendí muchas lecciones de esta vida; también donde conocí a personas de gran importancia para mí, que siempre los llevaré en mi memoria.

A mi asesor el *Ingeniero Rodrigo Ocón V.* por apoyarme e instruirme en hacer este trabajo de tesis, ya que no es sencillo; a los profesores, que tal vez no lo sepan, pero aprendí muchas cosas de su vasto conocimiento en sus cátedras, el cual compartieron con aquellas enseñanzas y experiencias útiles del desempeño profesional: *José Manuel Pérez C., Juan Gastaldi P., Prócoro Pablo Luna E., Eleazar Margarito Pineda D., Alfredo Montaña S., Alejandro Antonio Vega R.*; y a los profesores de mi jurado: *Abel Verde, Ricardo López y Julio Bernal.*

A *mi mamá*, gracias por el invaluable apoyo que me dio, ya que desde pequeño me insistía y me ayudaba a estudiar y no dejar la escuela, hoy hay frutos de su constante porfía.

A *mi papá*, gracias porque siempre tuve lo necesario para asistir a clases y nunca me faltó ni aún un lápiz, su esfuerzo en trabajar día a día se ve reflejado en los logros que he alcanzado.

A *mi familia*, que en algún momento de meditación fueron mi inspiración y convicción para estudiar y superarme a cada momento: mis hermanos *Jeziel y David* con sus respectivos cónyuges *Víctor y Martha*, y sus niños *Elías e Isaías; Rebeca, Samantha y Eunice* respectivamente, a mi abuelita *Leonor*, a mis tías *Araceli y Patricia*, y a mi abuelito *David* y su esposa *Aurora*.

A mis **amigos de la facultad** con quienes viví momentos únicos de estudio y diversión que jamás se repetirán: Carlos Sarabia, Teucro Osorio, Edwing Tencos y Sandra Lyzbeth; Jorge Flores, Jorge Farias, Jorge Calderón, Oscar Pichardo, Rogelio Flores, Dazaet Orozco, Martín Mendoza, Erik Estrada y Héctor Pérez; Aracely Gómez, Patricia Santacruz, Nelson Martínez, Edgar Ramírez, Oscar Olguín, Jorge Barrera, Elena Mondragón, José Antonio, Fabián Ibarra, Iván, Raúl Rea y Angélica Lucía, que no por ser los últimos en mención, son menos importantes para mí, todos tienen un lugar en mi mente; y gracias también a todos los compañeros de la carrera.

A mis **amigos** con quienes he pasado momentos inolvidables **desde la infancia** con anécdotas, emociones e historias excepcionales: Saúl, Levi, Israel, Isaías y Roberto.

A mis **amigos del CCH**, grandes amigos y grandes recuerdos: Yamirka, Nancy, José, Alejandro, Montserrat y Rubén; Raissa Capi, Ricardo Flores, Ricardo Trejo, Alejandra Mondragón, Fernando Galindo, Alejandro Sánchez, Hugo, Jessica, Nancy Jacqueline, Cesar Godínez, Víctor Jiménez y Janett Rivera.

A las **personas y amigos** con quienes he convivido a lo largo **de esta vida**, que me han apoyado y que en algún momento me dado enseñanzas y me han dejado consejos: Laura Rangel, Yadira y José Manuel, Ricardo Santana, Alejandro Palafox, Ramón Mendoza, Diana Ivette, Cyntia Vázquez F., Andrés y Carolina, Andrea y Perla, Tania Libertad, Lizbeth Vázquez, Adrián Humberto, Melquisedec y Valeria, Leticia L., Alberto González, Carlos Martínez y Nohemí Cristóbal, Alberto y Abisai, Gerardo Parral, Patricia León, Héctor Renato, Cristian Castro, a mis primos Angélica G., David A., Janeth, Luis E. y Moisés D.; mis tíos Roberto, Ernesto, David, Teresa; Isaías, Felipe, Agustín y Marcos.

Mi lista es grande, pero sin duda que a todos tengo presentes en mis pensamientos, jamás los borraré. Por la oportunidad de convivencia y por los momentos que he tenido de estar con cada uno.

Gracias

*Aplicación de Sistemas Fotovoltaicos
como Esquemas de
Generación Distribuida.*



Introducción.

Para nosotros los seres vivos, el **Sol** es el astro vital, la fuente de energía merced a la cual la vida es posible en la Tierra. Pero, en la inmensidad del Universo, la importancia del **Sol** es irrisoria: no es éste sino una estrella trivial, una entre las 100 000 o 200 000 con que cuenta la galaxia. Como es ésta, a su vez, uno de los miles de millones de sistemas de su especie existentes en el universo, el **Sol** se nos asemeja un átomo perdido en el cosmos.

El **Sol** es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares. La energía irradiada por el **Sol** procede de la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio. El astro irradia un segundo más de energía que la consumida por la humanidad en toda su historia. Una parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética. Bajo la perspectiva humana, la fuente de energía solar puede considerarse como inagotable, el **Sol** ha brillado en el cielo desde hace unos 4,500 millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Al menos, los científicos especulan que la edad restante de esta estrella es de más de 5,000 millones de años.

El **Sol**, es fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el ser humano ha utilizado desde los albores de la historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos cómo aprovechar de forma adecuada la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Sería poco racional dejar de aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia de los combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral y gas natural), ya que son recursos finitos que inexorablemente van a agotarse; de ahí su denominación de "recursos no renovables".

Por fortuna, existen también las "**energías renovables**", que se definen como formas de energía natural que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta, y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable. Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la minihidráulica (ríos y pequeñas caídas de agua), la biomasa (materia orgánica), la geotermia (calor de las capas internas de la Tierra) y la oceánica, principalmente. Las **energías renovables** ofrecen la oportunidad de obtener energía útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes convencionales y poseen el potencial para satisfacer todas nuestras necesidades de energía presentes y futuras. Además, su utilización contribuye a conservar los recursos energéticos no renovables y propicia el desarrollo regional.



La forma de capturar energía solar y convertirla en electricidad es mediante los **sistemas fotovoltaicos**, se puede decir que su único combustible o fuente de alimentación, es la luz que emite el **Sol**; estos sistemas los conforman un conjunto de elementos capaces de absorber, recolectar y transformar la luz del **Sol** en energía eléctrica, este sistema involucra el uso de las **células solares o fotovoltaicas**. La célula solar es un dispositivo de estado sólido como un transistor o un microchip, usa las características físicas de un semiconductor, tal como el silicio, para transformar en forma directa la luz del **Sol** en electricidad. La simplicidad de la célula solar hace de ella un método muy atractivo para la generación de electricidad; sin embargo, la fabricación del silicio requerido para las celdas solares, es energía intensiva. En cambio, las plantas térmicas solares son más complejas, pero por lo general más baratas y usan una tecnología más convencional en la planta. Por lo tanto, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación. Pero la aplicación de los **paneles fotovoltaicos** y los colectores térmicos, es una maravillosa obra de ingeniería que se ha integrado en nuestro entorno, ya que el consumo de energía sigue una curva ascendente que parece no tener fin.

Aunada a la energía solar fotovoltaica, esta la **generación distribuida** que consiste en generar y utilizar nuestra propia energía eléctrica, estas se localizan lo más cerca posible a la distribución final. La **generación distribuida** es una alternativa a las pequeñas unidades de generación por su fácil instalación, disponibilidad y modo de operación; El uso de esta tecnología se debe a dos motivos principalmente, el primero es porque hay comunidades alejadas de las grandes metrópolis, a las cuales es muy complicado y costoso hacer llegar el suministro eléctrico, y el segundo puede ser simplemente por poderse independizar o trabajar en paralelo con la red eléctrica.

Finalmente, por los motivos expuestos, que no dejan de ser una mera reflexión en voz alta de una situación conocida (y padecida), se están llevando a cabo grandes esfuerzos por parte de organismos públicos y privados para conseguir el mejor aprovechamiento de las energías renovables y con ello disponer de energías alternativas a las de origen fósil. La energía renovable y por tanto perdurable del **Sol**, está siendo aprovechada mediante muy diferentes tecnologías para proporcionar electricidad y calor, y cuya participación como energía alternativa está creciendo continuamente.

El presente trabajo de tesis, está estructurado principalmente en 4 capítulos secuenciales; el primer capítulo se basa en la teoría de los métodos más convencionales de generación de energía eléctrica; el capítulo dos, expone un tema que no es nuevo pero sí poco conocido, la generación distribuida, un método como alternativa de la red eléctrica para generar electricidad; en el capítulo 3 están las características básicas de un sistema fotovoltaico, su forma de operación y algunos datos relevantes que no se deben dejar a un lado y; por último en el capítulo cuatro, se muestra un caso real de una central solar en funcionamiento en nuestro país y su modo de operación, también algunos otros casos de aplicación de los paneles solares.

Objetivos.

Objetivo general.

1. Comprender la estructura, funcionamiento, principales características y los beneficios de un **sistema fotovoltaico** y su aplicación como un esquema de **generación distribuida**.

Objetivos particulares.

1. Conocer que son las **energías renovables** y entender la importancia que tienen en el presente y aún más en el futuro.
2. Realizar un estudio de casos perceptibles y evidentes de centrales eléctricas fotovoltaicas en operación, a nivel nacional e internacional.

Contenido.

☀ Introducción	1
☀ Objetivos	3
☀ Capítulo 1 – Principios de generación de la energía eléctrica	5
1.1 El sistema de energía eléctrica	6
1.2 Centrales eléctricas	10
1.3 Clasificación de las centrales eléctricas	10
☀ Capítulo 2 – La generación distribuida	25
2.1 La generación distribuida	26
2.2 Tecnologías de la generación distribuida	28
2.3 Objetivos de la generación distribuida	35
2.4 Compañías eléctricas en la generación distribuida	36
☀ Capítulo 3 – Fundamentos de sistemas fotovoltaicos	39
3.1 El sol	40
3.2 Energía solar fotovoltaica	42
3.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas	43
3.4 Componentes de un sistemas fotovoltaico	47
3.5 Captación de la energía	48
3.6 Acumulación de la energía eléctrica	53
3.7 Regulación de la energía eléctrica	57
3.8 Adaptación del suministro eléctrico	62
3.9 Aprovechamiento de la energía solar	64
☀ Capítulo 4 – Centrales fotovoltaicas	65
4.1 Central solar fotovoltaica en santa Rosalía	66
4.2 Estructura de la central	69
4.3 Operación y funcionamiento	77
4.4 Proyectos alternos en México	79
4.5 Proyectos alternos en el mundo	82
☀ Conclusión	83
☀ Bibliografía	84
☀ Anexo 1 – Galería de fotografías	86
☀ Anexo 2 – Reportajes	89

Capítulo 1

Principios de generación de la energía eléctrica.



1.1 El sistema de energía eléctrica.

Definición de energía.

La palabra **energía** proviene del griego *energos*; todos utilizamos con frecuencia esta palabra, pero su definición no es sencilla. Se puede decir que **energía es la capacidad de producir un trabajo.**

Generalmente se asocia la energía con las fuentes utilizadas para su generación; así tenemos entre muchas otras más:

- Energía térmica
- Energía química
- Energía luminosa
- **Energía eléctrica**
- Energía radiante
- Energía mecánica
- Energía solar
- Energía nuclear
- Energía geotérmica
- Energía eólica

Muchos de estos grupos se superponen y se mezclan entre sí. Uno de los principios fundamentales en este campo es que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Esta es la llamada “Ley de conservación de la energía”.



Definición de electricidad.

La palabra **electricidad** proviene del griego *elektron*; se puede definir que, es la propiedad fundamental de la materia que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes, originada por la existencia de electrones con carga negativa, o protones con carga positiva.

La electricidad es una forma de energía basada en esta propiedad, que puede manifestarse en reposo como electricidad estática, o en movimiento como corriente eléctrica, y que da lugar a luz, calor, campos magnéticos, etc.

Generación de la energía eléctrica

Una vez conocida la definición de *la energía* y *la electricidad*, se pueden unir estas dos palabras, formando así: **energía eléctrica**, un concepto que ya es conocido, pero entenderlo es tan fácil.

La **generación de energía eléctrica** consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

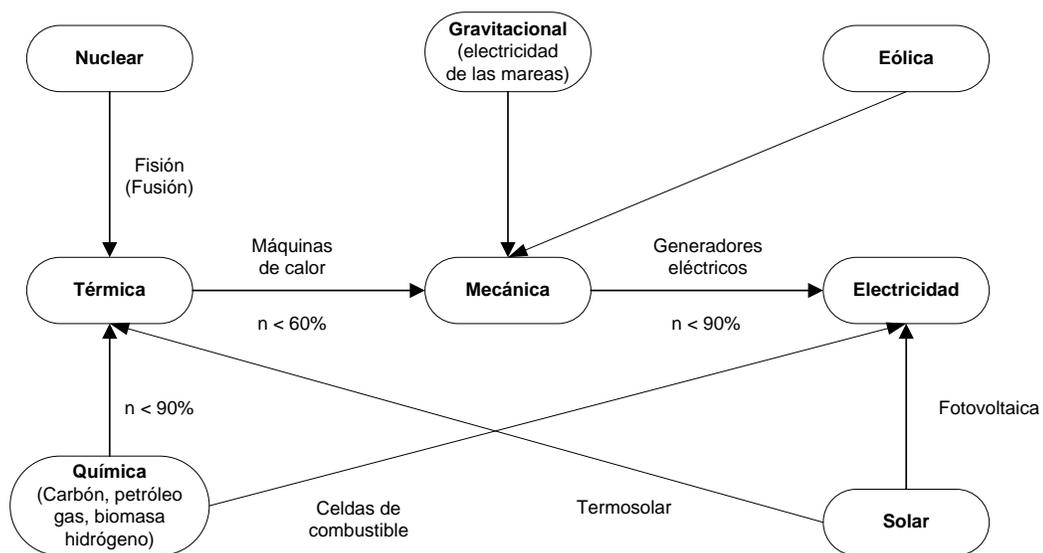


Figura 1.1 Transformación y generación de la energía eléctrica.

La generación eléctrica se realiza básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan. Explicado de otro modo, difiere en que fuente de energía primaria utiliza para convertir la energía contenida en ella, en energía eléctrica.

Todo el recorrido desde su generación hasta su entrega final, se realiza en lo que se denomina el **sistema de potencia**.

El **sistema de potencia** se encuentra dividido en 4 partes fundamentales como lo son:

1. Generación
2. Transmisión
3. Sub-transmisión
4. Distribución

1. Generación.

Es la transferencia de cualquier forma de energía a energía eléctrica. Los generadores se encargan de esto, se le entrega energía mecánica (y mueve su eje) para transformarla en energía eléctrica y así producir electricidad.

2. Transmisión.

Toda la electricidad producida en los centros de generación se debe transportar hacia los grandes centros poblados, que por lo general se encuentran bastante alejados, uno del otro. Para realizar esta labor de forma eficiente se eleva el voltaje, por medio de transformadores elevadores, y se utilizan grandes torres metálicas para sujetar los cables que la transportan.

3. Sub-transmisión.

Una vez que nos aproximamos a los centros poblados, es necesario reducir el voltaje a cantidades menores por medio de transformadores reductores. Para facilitar así el transporte de energía a los grandes centros industriales y residenciales de las ciudades.

4. Distribución.

Finalmente y para poder llegar a cada uno de los hogares, centros comerciales e industrias, se vuelve a reducir el voltaje. De esta forma es mucho más sencillo, económico y seguro transportar la energía eléctrica a cada rincón del pueblo, urbanización o ciudad. En esta etapa se reduce el voltaje a valores comerciales (120 Volts, 240 Volts, 440 Volts), por medio de transformadores.

En un sistema de energía eléctrica, siguiendo uno de los posibles caminos del flujo de energía desde la generación hasta un consumidor, nos encontramos con las siguientes unidades estructurales, tal como se representa en la figura:



Figura 1.2 Elementos estructurales del sistema de energía eléctrica.

Estos son principales elementos que se requieren para la generación de la energía eléctrica:

- Central eléctrica,
- Estación transformadora elevadora (Subestación de transformación),
- Línea de transporte (Red de transporte a 380 kV),
- Subestación (de maniobra o de transformación),
- Línea de interconexión (220kV),
- Red de distribución (primaria: 132 kV, 110 kV, 66 kV, 45 kV),
- Subestación de transformación,
- Red de distribución (secundaria: 30 kV, 20 kV, 15 kV, 10 kV, 6 kV, 3 kV),
- Centro de transformación,
- Red de baja tensión a 380 V.

En México, la compañía encargada del suministro de la energía eléctrica, define el proceso con las siguientes imágenes:

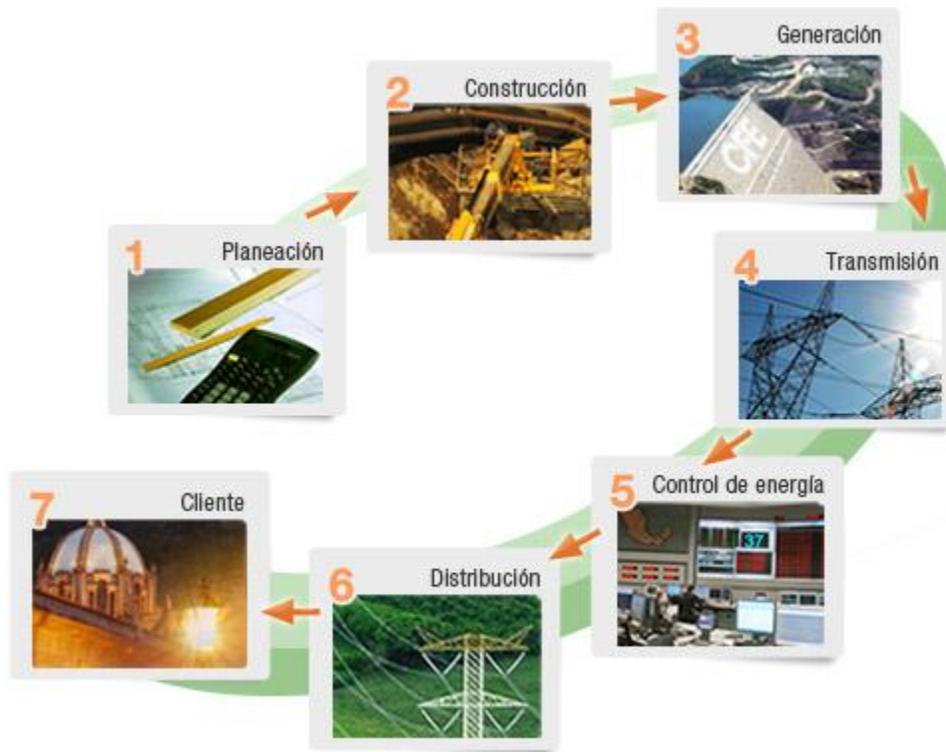


Figura 1.3 Proceso de generación de energía eléctrica en México.

1.2 Centrales eléctricas.

Central eléctrica

Se define como: "Lugar y conjunto de instalaciones, incluidas las construcciones de obra civil y edificios necesarios, utilizados directa o indirectamente para la producción de energía eléctrica".

El objeto de las centrales eléctricas es el de transformar los distintos tipos de energía primaria en energía eléctrica.

Subestación

Conjunto situado en un mismo lugar de la central eléctrica, y de los edificios necesarios para realizar alguna de las funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión de uno o más circuitos.

Subestación de transformación

Es la destinada a la transformación de la energía eléctrica mediante uno o más transformadores cuyos devanados secundarios se emplean en la alimentación de otras subestaciones o centros de transformación.

Centro de transformación

Instalación provista de uno o varios transformadores reductores de alta a baja tensión con la central y obra complementaria precisa.

1.3 Clasificación de las centrales eléctricas.

La clasificación se realiza atendiendo a diversos criterios como pueden ser:

- A. Según tipo de energía primaria que utilizan.
- B. Según la función que desempeñan dentro del sistema de energía eléctrica.
- C. Según el tipo de mando.

A. Según tipo de energía primaria que utilizan:

- Carboeléctricas.

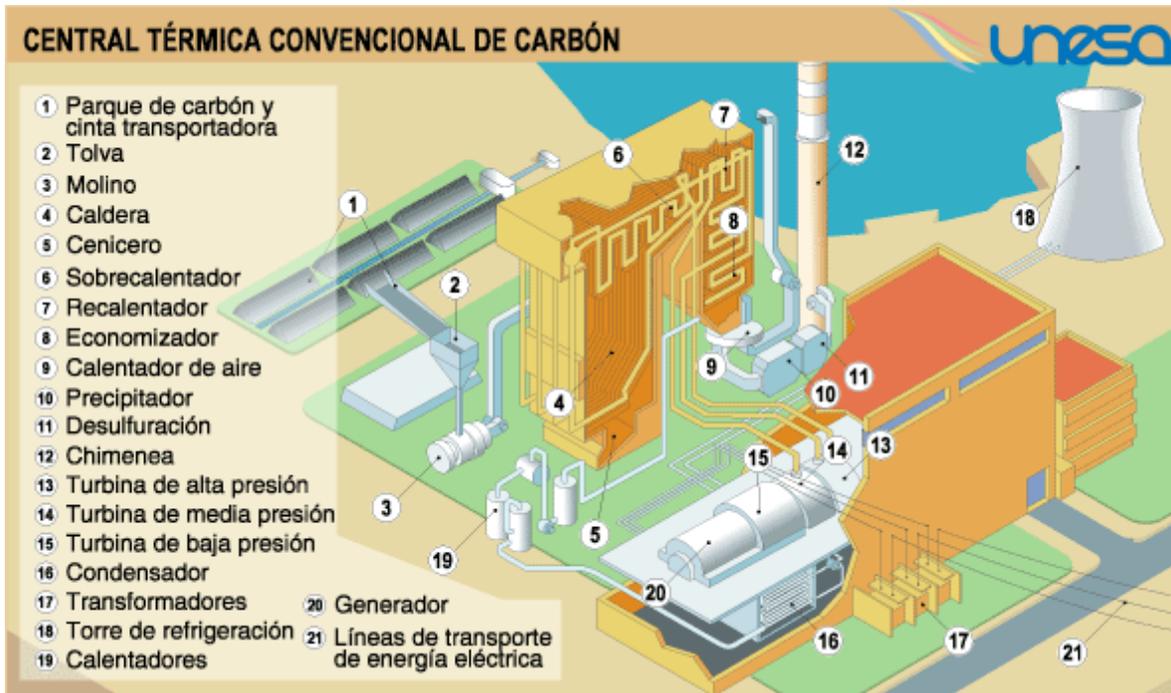


Figura 1.4 Central térmica convencional de carbón.

En cuanto a su concepción básica, carboeléctricas son básicamente las mismas que las plantas termoeléctricas de vapor, el único cambio importante es que son alimentadas por carbón, y las cenizas residuales requieren maniobras especiales y amplios espacios para el manejo y confinamiento.

Las centrales térmicas convencionales producen energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, como son el carbón, el fuelóleo o el gas. Además, utilizan tecnologías clásicas para la producción de electricidad, es decir, mediante un ciclo termodinámico de agua/vapor.

El carbón almacenado en el parque (1) cerca de la central es conducido mediante una cinta transportadora hacia una tolva (2) que alimenta al molino (3). Aquí el carbón es pulverizado finamente para aumentar la superficie de combustión y así mejorar la eficiencia de su combustión. Una vez pulverizado, el carbón se inyecta en la caldera (4), mezclado con aire caliente para su combustión.

La caldera está formada por numerosos tubos por donde circula agua, que es convertida en vapor a alta temperatura. Los residuos sólidos de esta combustión caen al cenicero (5) para ser posteriormente transportados a un vertedero. Las partículas finas y los humos se hacen pasar por los precipitadores (6) y los equipos de desulfuración (7), con el objeto de retener un elevado

porcentaje de los contaminantes que en caso contrario llegarían a la atmósfera a través de la chimenea (8).

El vapor de agua generado en la caldera acciona los álabes de las turbinas de vapor (9), haciendo girar el eje de estas turbinas que se mueve solidariamente con el rotor del generador eléctrico (12). En el generador, la energía mecánica rotatoria es convertida en electricidad de media tensión y alta intensidad. Con el objetivo de disminuir las pérdidas del transporte a los puntos de consumo, la tensión de la electricidad generada es elevada en un transformador (13), antes de ser enviada a la red general mediante las líneas de transporte de alta tensión (14).

Después de accionar las turbinas, el vapor de agua se convierte en líquido en el condensador (10). El agua que refrigera el condensador proviene de un río o del mar, y puede operar en circuito cerrado, es decir, transfiriendo el calor extraído del condensador a la atmósfera mediante torres de refrigeración (11) o, en circuito abierto, descargando dicho calor directamente a su origen.

- **Ciclo combinado**



Figura 1.5 Central de ciclo combinado.

Es una central en la que la energía térmica del combustible es transformada en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos: el correspondiente a una turbina de gas (ciclo Brayton) y el convencional de agua/turbina vapor (ciclo Rankine). Una vez que la generación de energía eléctrica de ciclo se termina en las unidades turbogas, la alta temperatura de gases de escape se utiliza para calentar agua para producir vapor, que se utiliza para generar energía eléctrica adicional.

Esta combinación de dos tipos de generación nos permite aprovechar al máximo los combustibles utilizados, mejorando así la eficiencia térmica en todos los tipos de generación termoeléctrica.

El plan general de una planta de ciclo combinado se puede organizar de acuerdo a las diferentes posibilidades. El número de unidades turbogas por unidad de vapor varía de 1-1 a 4-1.

Hay tres variables de vapor para la fase de diseño:

- a. - sin quemar combustible adicional
- b. - con la quema de combustible adicional para el control de calor
- c. - con la quema de combustible adicional para aumentar el calor y la presión de vapor

Una de las ventajas de este tipo de plantas es la posibilidad de construirlas en dos etapas. La primera etapa, turbogas; puede ser terminada en un corto período de tiempo y la planta inicia operaciones de inmediato y posteriormente, la construcción de la unidad de vapor puede ser terminado, y completar así el ciclo combinado.

La turbina de gas consta de un compresor de aire, una cámara de combustión y la cámara de expansión. El compresor comprime el aire a alta presión para mezclarlo posteriormente en la cámara de combustión con el gas. En esta cámara se produce la combustión del combustible en unas condiciones de temperatura y presión que permiten mejorar el rendimiento del proceso, con el menor impacto ambiental posible.

A continuación, los gases de combustión se conducen hasta la turbina de gas (2) para su expansión. La energía se transforma, a través de los álabes, en energía mecánica de rotación que se transmite a su eje. Parte de esta potencia es consumida en arrastrar el compresor (aproximadamente los dos tercios) y el resto mueve el generador eléctrico (4), que está acoplado a la turbina de gas para la producción de electricidad. El rendimiento de la turbina aumenta con la temperatura de entrada de los gases, que alcanzan unos 1.300 °C, y que salen de la última etapa de expansión en la turbina a unos 600 °C. Por tanto, para aprovechar la energía que todavía tienen, se conducen a la caldera de recuperación (7) para su utilización.

La caldera de recuperación tiene los mismos componentes que una caldera convencional (precalentador, economizador, etc.), y en ella, los gases de escape de la turbina de gas transfieren su energía a un fluido, que en este caso es el agua, que circula por el interior de los tubos para su transformación en vapor de agua.

A partir de este momento se pasa a un ciclo convencional de vapor/agua. Por consiguiente, este vapor se expande en una turbina de vapor (8) que acciona, a través de su eje, el rotor de un generador eléctrico (9) que a su vez, transforma la energía mecánica rotatoria en electricidad de media tensión y alta intensidad. A fin de disminuir las pérdidas de transporte, al igual que ocurre con la electricidad producida en el generador de la turbina de gas, se eleva su tensión en los transformadores (5), para ser llevada a la red general mediante las líneas de transporte (6).

El vapor saliente de la turbina pasa al condensador (10) para su licuación mediante agua fría que proviene de un río o del mar. El agua de refrigeración se devuelve posteriormente a su origen, río o mar (ciclo abierto), o se hace pasar a través de torres de refrigeración (11) para su enfriamiento, en el caso de ser un sistema de ciclo cerrado.

Conviene señalar que el desarrollo actual de esta tecnología tiende a acoplar las turbinas de gas y de vapor al mismo eje, accionando así conjuntamente el mismo generador eléctrico.

- **Combustión Interna**

Las plantas de combustión interna están equipadas con motores de combustión interna en la que aprovechan la expansión de gas de combustión para obtener energía mecánica, que luego se transforma en energía eléctrica en el generador.

Las plantas de combustión interna son usualmente alimentadas por gasóleo, y en el caso de la planta ubicada en San Carlos, Baja California Sur, para alimentar sus dos motores de combustión interna utilizan una mezcla de combustóleo y el gasóleo.

- **Eoloeléctrica**

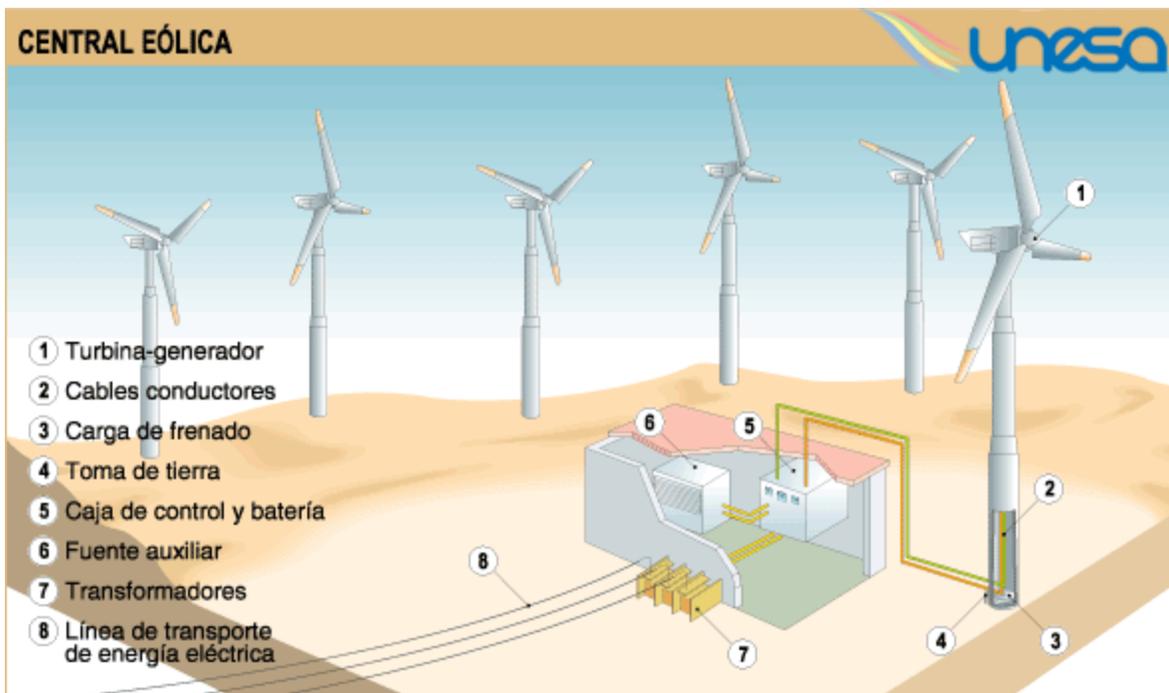


Figura 1.6 Central eólica.

En la actualidad, la energía eólica se aprovecha fundamentalmente mediante su transformación en electricidad a través de los aerogeneradores. Un aerogenerador eléctrico es, por tanto, una máquina que convierte la energía cinética del viento (masa a una cierta velocidad) en energía eléctrica. Para ello, utiliza unas palas, que conforman una “hélice”, y que transmiten la

energía del viento al rotor de un generador. Es decir, aprovecha un flujo dinámico de duración cambiante y con desplazamiento horizontal, de donde resulta que la cantidad de energía obtenida es proporcional al cubo de la velocidad del viento.

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

Generalmente se agrupan en un mismo emplazamiento varios aerogeneradores, dando lugar a los llamados parques eólicos, que pueden verse en la cima de numerosas montañas del país.

Existe una gran cantidad de modelos de aerogeneradores, si bien pueden agruparse en dos grandes conjuntos: los de eje vertical y los de eje horizontal.

El funcionamiento de un tipo de aerogenerador de eje horizontal, es de los más convencionales, sobre una torre soporte (3) se coloca una góndola (2), que aloja en su interior un generador, el cual está conectado, mediante una multiplicadora, a un conjunto de palas (1).

La energía eléctrica producida por el giro del generador es transportada mediante cables conductores (4) a un centro de control (6) desde donde, una vez elevada su tensión por los transformadores (8), es enviada a la red general mediante las líneas de transporte de alta tensión (9).

Dado el carácter aleatorio de la producción de energía eléctrica por vía eólica, las centrales de este tipo deben disponer de una fuente auxiliar (7) para tener garantizado en todo momento el suministro de energía eléctrica. Debido a la altura en la que se encuentra el generador y al rozamiento que el aire produce sobre éste, es conveniente que el equipo tenga una toma a tierra (5), para evitar la electricidad estática.

Asimismo, para el control de la velocidad del generador existen tecnologías que permiten regular dentro de unos límites, las revoluciones de las palas, independientemente de la velocidad del viento.

Un ejemplo de estas centrales en México, es la central eólica de La Venta en Oaxaca, se localiza en el sitio del mismo nombre, a unos 30 kilómetros al noreste de Juchitán de Zaragoza. Fue la primera planta eólica integrada a la red en América Latina. Con una capacidad instalada de 84.875 megavatios, consta de 105 aerogeneradores, ya que a partir de enero de 2007 entraron en operación comercial 98 nuevas unidades generadoras.

- **Geotermoeléctrica**

Por medio de pozos específicamente perforados, las aguas subterráneas que poseen una gran cantidad de energía térmica almacenada; se extraen a la superficie transformándose en vapor, que se utiliza para generar energía eléctrica.

Este tipo de planta opera con los mismos principios que los de una termoeléctrica como vapor, con excepción de la producción de vapor, que en este caso se extrae del subsuelo. El vapor de agua obtenido de la mezcla se envía a un separador; el secado de vapor va a la turbina de energía cinética que se transforma en energía mecánica y esta a su vez, en electricidad en el generador.

Existen unidades de 5 MW en la que el vapor, una vez que trabajó en la turbina, se libera directamente a la atmósfera. En unidades de 20, 37,50 y 110MW, el vapor es enviado a un sistema de condensación; agua condensada junto con la proveniente del separador, se reinyecta en el metro o descargadas a través de un tubo de evaporación.

- **Hidroeléctricas**

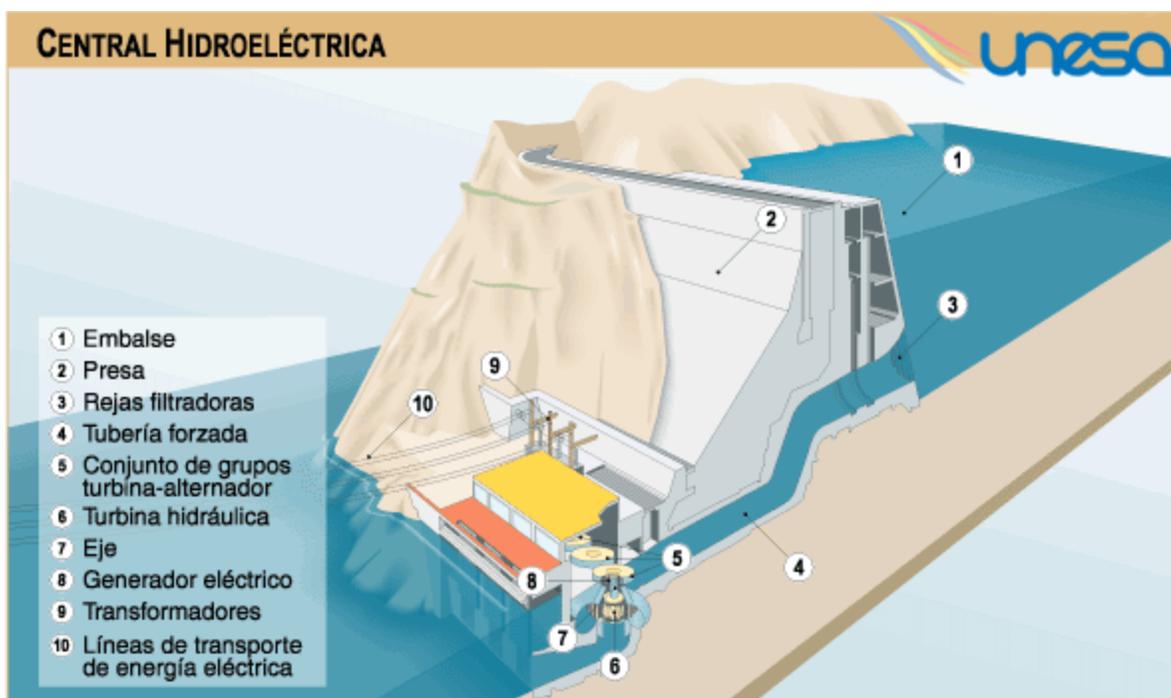


Figura 1.7 Central hidroeléctrica.

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía potencial del agua como fuente primaria para generar electricidad. Estas plantas se localizan en sitios en donde existe una diferencia de altura entre la central eléctrica y el suministro de agua. De esta forma, la energía potencial del agua se convierte en energía cinética que es utilizada para impulsar el rodete de la turbina y hacerla girar para producir energía mecánica. Acoplado a la flecha de la turbina se encuentra el generador, que finalmente convierte la energía mecánica en eléctrica.

Una característica importante es la imposibilidad de su estandarización, debido a la heterogeneidad de los lugares en donde se dispone de aprovechamiento hidráulico, dando lugar a una gran variedad de diseños, métodos constructivos, tamaños y costos de inversión.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de acuerdo con dos diferentes criterios fundamentales:

1. Por su tipo de embalse.
2. Por la altura de la caída del agua.

Si se toma como ejemplo un emplazamiento de una central de acumulación con la central eléctrica a pie de presa, un esquema simplificado de su funcionamiento es el siguiente:

La presa (2), situada en el lecho de un río, acumula artificialmente un volumen de agua para formar un embalse (1), lo que permite que el agua adquiera una energía potencial (masa a una cierta altura) que luego se transformará en electricidad. Para ello, se sitúa en el paramento aguas arriba de la presa, o en sus proximidades, una toma de agua protegida por una rejilla metálica (3) con una válvula que permite controlar la entrada del agua en la galería de presión, previa a una tubería forzada (4) que conduce finalmente el agua hasta la turbina situada en la sala de máquinas de la central.

El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética, es decir, va perdiendo altura y adquiriendo velocidad. Al llegar a las máquinas, actúa sobre los álabes de la turbina hidráulica (5), transformando su energía cinética en energía mecánica de rotación. El eje de la turbina está unido al del generador eléctrico (6) que al girar, convierte la energía rotatoria en corriente alterna de media tensión y alta intensidad. Mediante transformadores (7), es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión, para ser enviada a la red general mediante las líneas de transporte (8).

Una vez que ha cedido su energía, el agua es restituida al río, corriente abajo de la central, a través del canal de desagüe.

- Nucleoeléctricas

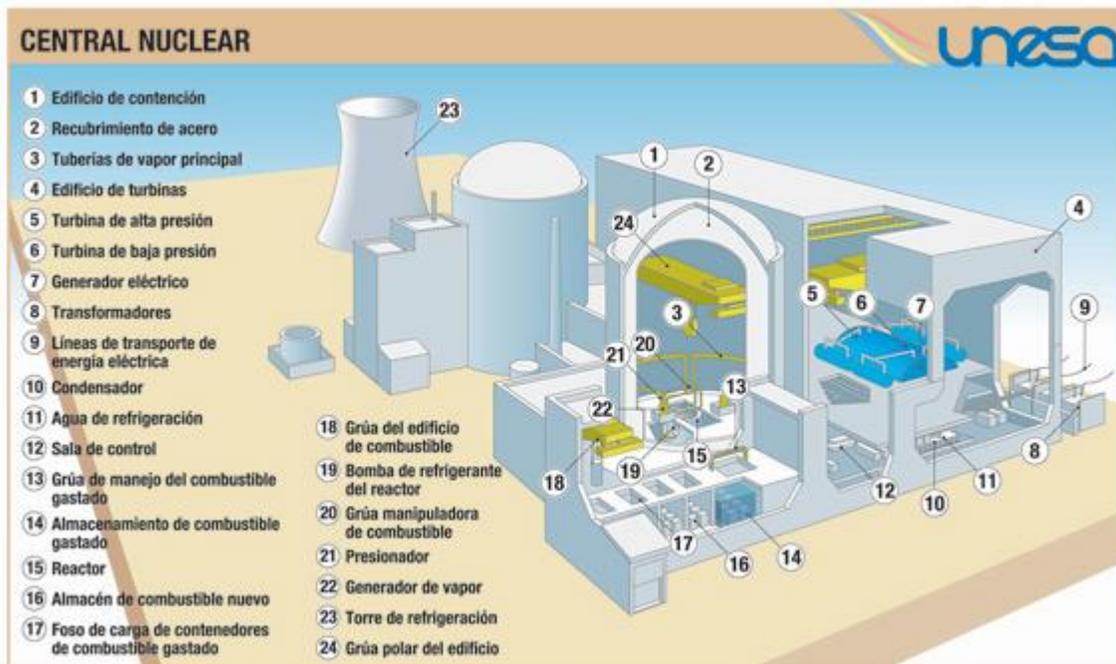


Figura 1.8 Central nuclear.

La energía nuclear, se trata de una forma de producción eléctrica en grandes cantidades a bajo costo, pero que plantea mucha polémica ya que ante un fallo en sus centrales de producción, la población corre alto riesgo de contaminación radioactiva y esto hace que genere un fuerte rechazo social.

Una central térmica nuclear es una instalación que aprovecha el calor obtenido mediante la fisión de los núcleos de uranio para producir energía eléctrica. Por consiguiente, las centrales nucleares tienen un reactor, es decir, una instalación que permite iniciar y controlar una reacción en cadena de fisión nuclear. El calor generado en dicha reacción se utiliza para convertir un líquido, generalmente agua, en vapor que de manera semejante a como ocurre en las centrales térmicas de combustibles fósiles, se emplea para accionar un grupo turbina-generador y producir así energía eléctrica.

Toda la materia del universo está formada por moléculas que a su vez están constituidas por átomos, los cuales están formados por partículas aún más pequeñas.

Un átomo contiene protones, neutrones y electrones, los átomos se pueden imaginar como sistemas solares en miniatura, en su centro se encuentran los protones y los neutrones firmemente unidos formando el núcleo atómico. Alrededor de este núcleo, como si fuesen pequeños planetas girando alrededor del sol, se encuentran los electrones.

El elemento uranio, cuyo número atómico es 92, tiene fundamentalmente dos isótopos con número de masa 235 y 238 respectivamente. El uranio puede ser manipulado, es posible bombardear el núcleo de un átomo con neutrones, lo cual altera su estructura y puede dividirlo en dos núcleos pequeños. La división del núcleo emite radiación, genera energía térmica y libera dos o tres neutrones, es el proceso llamado fisión.

Los neutrones producidos por la fisión, impactan otros núcleos del mismo isótopo generando una reacción en cadena, lo cual libera grandes cantidades de energía. El control de la reacción en cadena se realiza utilizando otros elementos como boro y cadmio para capturar los neutrones libres. La energía nuclear utiliza la energía en forma de calor obtenida por la reacción en cadena de la fisión, para generar electricidad.

Un reactor nuclear es un enorme recipiente dentro del cual se está efectuando una reacción de fisión en cadena de manera controlada. Está colocado en el centro de un gran edificio de gruesas paredes de concreto, que protegen al personal que lo opera y al público en general de la radioactividad que produce. Básicamente un reactor consta de tres elementos esenciales: combustible, moderador y refrigerante.

En las centrales nucleares el calor se obtiene a partir de la fisión del uranio, no se genera combustión, por analogía con las centrales convencionales se le denomina combustible nuclear. Como combustible se utiliza Uranio, como moderador y refrigerante agua.

Se tomará como ejemplo el funcionamiento de una central de agua a presión

Consta de un edificio de contención (1), que es una construcción blindada y hermética compuesta normalmente por una base cilíndrica acabada por una cúpula. En él se alojan los principales componentes del circuito primario, como son el reactor (10), los generadores de vapor (13), el presionador (12) y las bombas del refrigerante (11). Representa, por tanto, la parte más característica de una central nuclear.

El calor generado por las fisiones de los núcleos del combustible alojado en el reactor se transmite al fluido refrigerante (agua), que se mantiene en estado líquido debido a su gran presión. El refrigerante es conducido hacia los generadores de vapor. A la salida de éstos, el agua vuelve al reactor impulsada por las bombas del refrigerante.

En los generadores de vapor y sin mezclarse con la del circuito primario, el agua del circuito secundario se convierte en vapor que se conduce al edificio de turbinas a través de las tuberías de vapor principal (2) para accionar los álabes de las turbinas de vapor (3). El vapor que sale de las turbinas pasa nuevamente a estado líquido en el condensador (7).

El agua para refrigerar (8) se toma de un río o del mar y, a través de una o varias torres de refrigeración (9), se enfría antes de devolverla a su origen.

La energía del vapor que llega a las turbinas se convierte en electricidad mediante un generador eléctrico (4). La tensión de salida del mismo es aumentada convenientemente

mediante transformadores (5) para ser enviada a la red general a través de las líneas de transporte de energía eléctrica (6).

Entre las instalaciones relevantes de una central nuclear se halla asimismo, el edificio de combustible (14). En él se halla el sistema de almacenamiento de combustible gastado que permite la pérdida gradual de su actividad. El combustible se cargará posteriormente en un contenedor que, tras su limpieza en el foso de descontaminación, será transportado a las instalaciones de almacenamiento definitivo fuera de la central. En dicho edificio se almacena también el combustible que aún no ha sido utilizado en el reactor.

La única central nucleoelectrónica del país "Laguna verde", dispone de 370 hectáreas localizadas sobre la costa del Golfo de México, en el km 42.5 de la carretera federal Cd. Cardel-Nautla, municipio de Alto Lucero; a 60 km al noreste de la ciudad de Xalapa, a 70 km del puerto de Veracruz y a 290 km al noreste del Distrito Federal.

La central consta de dos unidades, cada una con capacidad de 682.44 megavatios, equipadas con reactores del tipo agua hirviendo y contenciones de ciclo directo. El sistema nuclear de suministro de vapor fue adquirido a General Electric y el Turbogenerador a Mitsubishi Heavy Industries.

- **Solar fotovoltaica**

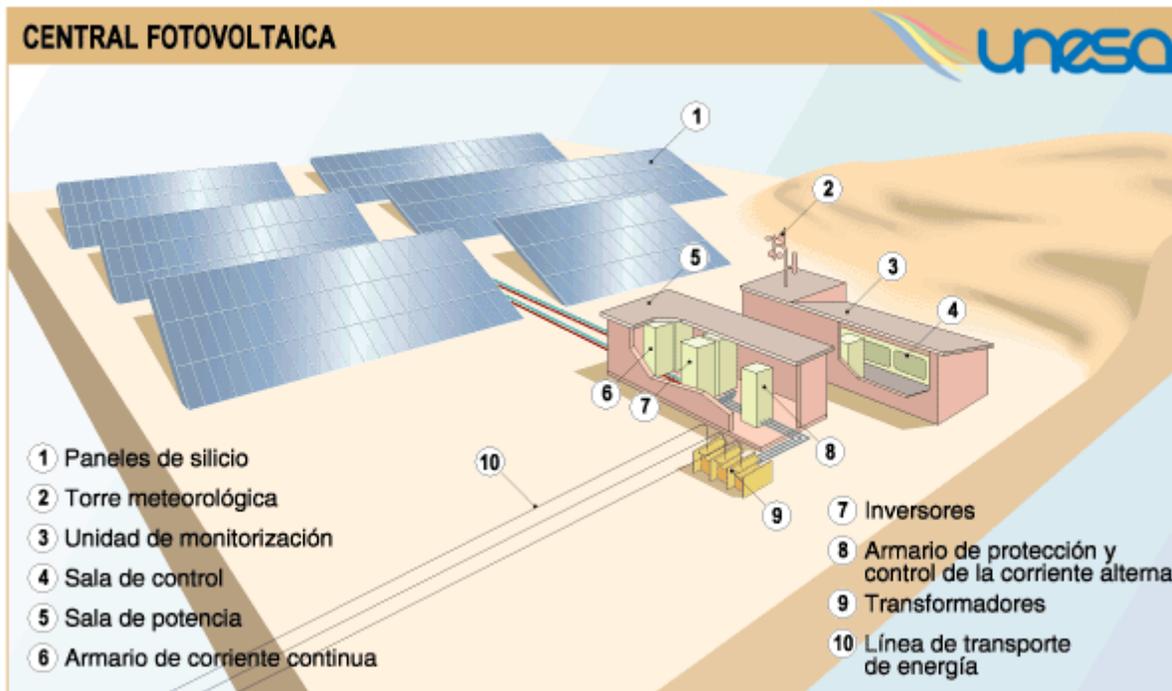


Figura 1.9 Central fotovoltaica.

El funcionamiento de una central fotovoltaica puede resumirse de la siguiente forma:

El elemento básico de una central fotovoltaica es el conjunto de células fotovoltaicas, que captan la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico. Están integradas primero, en módulos y luego se forman con ellos los paneles fotovoltaicos (1). Lógicamente, la producción de electricidad de dichas células depende de las condiciones meteorológicas existentes en cada momento, —fundamentalmente de la insolación—. Dichas condiciones son medidas y analizadas con la ayuda de una torre meteorológica (2).

Como la energía eléctrica que circula por la red de transporte lo hace en forma de corriente alterna, la corriente continua generada en los paneles solares debe ser transformada a corriente alterna. Es conducida entonces, primeramente a un armario de corriente continua (4), para ser convertida en corriente alterna por medio de un inversor (5) y ser finalmente transportada a un armario de corriente alterna (6).

Posteriormente, la energía eléctrica producida pasa por un centro de transformación (7) donde se adapta a las condiciones de intensidad y tensión de las líneas de transporte (8) para su utilización en los centros de consumo. El funcionamiento de todos los equipos de la central se supervisa desde la sala de control (3), en la que se recibe información de los distintos sistemas de la instalación: torre meteorológica, inversor, armarios de corriente continua y alterna, centro de transformación, etc.

- **Solar térmica**

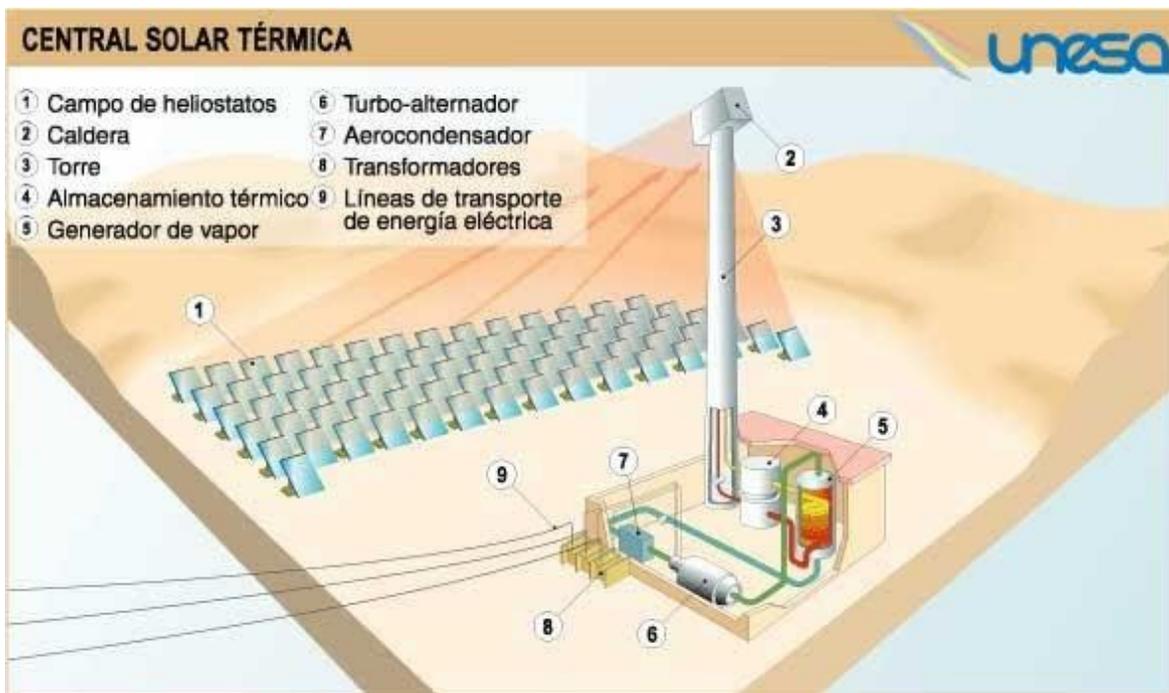


Figura 1.10 Central solar térmica.

Una Central Termosolar es una instalación que permite el aprovechamiento de la energía del sol para la producción de electricidad. Tiene un ciclo térmico semejante al de las centrales termoeléctricas convencionales: la energía calorífica que se produce en un determinado foco es transformada en energía mecánica mediante una turbina y, posteriormente, en energía eléctrica mediante un alternador.

La única diferencia es que mientras en las centrales termoeléctricas convencionales el foco calorífico se consigue por medio de la combustión de una fuente fósil de energía (carbón, gas, fuelóleo), en las solares, el foco calorífico se obtiene mediante la acción de la radiación solar que incide sobre un fluido.

El esquema de funcionamiento de una central termosolar del tipo torre central sería:

Una central de este tipo, está formada por un campo de heliostatos (1) o espejos direccionales de grandes dimensiones, que reflejan la luz del sol y concentran los haces reflejados en una caldera (2) situada sobre una torre (3) de gran altura.

En la caldera, el aporte calorífico de la radiación solar reflejada es absorbido por un fluido térmico (sales fundidas, agua u otros). Dicho fluido es conducido hacia un generador de vapor (5), donde transfiere su calor a un segundo fluido, generalmente agua, el cual es convertido así en vapor. A partir de este momento el funcionamiento de la central es análogo al de una central térmica convencional. Por tanto, este vapor es conducido a una turbina (6) donde la energía del vapor es convertida en energía mecánica rotatoria que permite al generador (7) producir electricidad. El fluido es posteriormente licuado en un condensador (8) para repetir el ciclo.

Como la producción de una central solar depende en gran medida de las horas de insolación, para aumentar y estabilizar su producción, suele disponerse de sistemas de almacenamiento térmico o sistemas de apoyo (4) intercalados en el circuito de calentamiento.

La energía producida, después de ser elevada su tensión en los transformadores (9), es transportada mediante las líneas de transporte eléctricas (10) a la red general del sistema.

- **Termoeléctrica**

En el proceso termoeléctrico existe una clasificación de tipos de generación, según la tecnología utilizada para hacer girar los generadores eléctricos:

- Vapor. Con vapor de agua se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
- Turbogas. Con los gases de combustión se produce el movimiento de una turbina acoplada al generador eléctrico.
- Combustión Interna. Con un motor de combustión interna se produce el movimiento del generador eléctrico.

- Ciclo Combinado. Combinación de las tecnologías de turbogas y vapor. Constan de una o más unidades de turbogas y una de vapor, cada turbina acoplada a su respectivo generador eléctrico.

Otra clasificación de las centrales termoeléctricas corresponde al combustible primario para la producción de vapor:

- Vapor (combustóleo, gas natural y diesel)
- Carboeléctrica (carbón)
- Dual (combustóleo y carbón o combustóleo y gas)
- Geotermoeléctrica (vapor extraído del subsuelo)
- Nucleoeléctrica (uranio enriquecido)

Una central termoeléctrica de tipo vapor es una instalación industrial en la que la energía química del combustible se transforma en energía calorífica para producir vapor, éste se conduce a la turbina, donde su energía cinética se convierte en energía mecánica, la que se transmite al generador para producir energía eléctrica.

Estas centrales utilizan el poder calorífico de combustibles derivados del petróleo (combustóleo, diesel y gas natural), para calentar agua y producir vapor con temperaturas del orden de los 520°C y presiones entre 120 y 170 kg/cm², para impulsar las turbinas que giran a 3600 r.p.m.

- **Turbogas**

La generación de energía eléctrica en las unidades de turbogas, se realiza directamente la energía cinética resultante de la expansión de aire comprimido y los gases de combustión. La turbina está unida al generador de rotor, dando lugar a la producción de energía eléctrica. Los gases de la combustión se descargan directamente a la atmósfera después de trabajar en la turbina.

Estas unidades utilizan el gas natural o diesel como combustible. Desde el punto de vista operativo, el breve tiempo de arranque y la variación a la inconsistencia de la demanda, la turbina de gas satisface cargas de suministro y capacidad del sistema eléctrico.

B. Según la función que desempeñan dentro del sistema de energía eléctrica:

Centrales de base.

Suministran la mayor parte de la energía eléctrica de forma continua, es decir, están sometidas a variaciones de carga muy limitadas. Por ejemplo, las centrales eléctricas de agua fluyente, centrales nucleares y grandes centrales térmicas.

Centrales de punta.

Trabajan en paralelo con las centrales de base y cubren las puntas de carga (funcionamiento periódico). Como centrales de punta se emplean centrales hidráulicas y centrales con turbinas de gas.

Centrales de reserva.

Sirven para sustituir total o parcialmente a las centrales hidráulicas de base en casos de escasez de agua o avería de algún elemento del sistema eléctrico. Son de uso intermitente. Como centrales de reserva se suelen emplear centrales térmicas de carbón o grupos diesel.

Centrales de socorro o de emergencia.

De rápida puesta en funcionamiento y próximas a los centros de consumo. Sirven para paliar los efectos del fallo o avería de las líneas de transporte o de las subestaciones. Son móviles, y las pequeñas, por lo general, grupos diesel.

Centrales de acumulación o de bombeo.

Aprovechan el sobrante de potencia que en determinados momentos puede tener el sistema de energía eléctrica (por ejemplo, por menor consumo) para acumular energía hidráulica aguas arriba de la presa.

C. Según el tipo de mando:

- Centrales con mando manual.
- Centrales con mando semiautomático.
- Centrales con mando automático.

Capítulo 2

La generación distribuida.



2.1 La generación distribuida.

La **generación distribuida** es la práctica de la localización de pequeñas unidades de generación de energía eléctrica cerca del punto de uso final. La generación distribuida tiene muchas ventajas, entre ellas:

- La reducción de las facturas de servicios eléctricos,
- Aumento de la seguridad de la energía eléctrica,
- Mejora la recuperación de la inversión de los sistemas de generación requeridas,
- Poderlo hacer comercial para vender a los servicios públicos,
- La generación de energía amigable al medio ambiente.

La práctica de la generación distribuida a veces también se conoce como “generación de sitio”, “cliente de su propia generación” o “generación distribuida”.

La generación distribuida puede funcionar en paralelo con o independientemente de la red de suministro eléctrico. La red de suministro eléctrico (también conocido como el sistema de utilidad de suministro eléctrico o de producción de energía eléctrica y red de distribución) es una compleja interconexión de cuatro componentes: plantas de generación, subestaciones, sistemas de transmisión, y sistemas de distribución. Las plantas de generación producen la energía eléctrica a granel a través de la conversión de otra forma de energía, como hidroeléctrica, el combustible nuclear, fósil (por ejemplo, carbón, petróleo o gas natural), el viento o la energía solar. Las subestaciones cambian el voltaje de un sistema a otro. La transmisión de sistemas de transporte masivo de energía eléctrica a larga distancia, se da a través de líneas de transmisión de alto voltaje. Finalmente los sistemas de distribución entregan la potencia a un voltaje menor para las conexiones de los usuarios finales. Estos distintos componentes están interconectados para cumplir con la capacidad y las necesidades operacionales de los usuarios finales, teniendo en cuenta factores tales como la economía, fiabilidad y calidad de la energía.

Cuando los sistemas de distribución operan en paralelo con la red de servicios eléctricos, se consideran conectados a la red porque se basan en la red de servicios eléctricos para establecer el voltaje de funcionamiento del sistema y frecuencia. La generación autónoma, funciona de forma independiente de la red eléctrica en el suministro de sus cargas. La generación que funciona de manera autónoma, no puede depender de la red de servicios eléctricos para establecer la tensión de funcionamiento y la frecuencia. La generación autónoma debe ser capaz de establecer y regular de manera independiente su tensión de funcionamiento y la frecuencia. El funcionamiento autónomo también se conoce como “aislado” cuando la generación autónoma suministra su carga o una parte del sistema de distribución de utilidad mientras está desconectado de la red de servicios eléctricos.

La generación distribuida es la solución ideal para muchos objetivos porque las pequeñas unidades de generación están disponibles, fácil de instalar y operar, fácil de trasladar, modular y son rentables. El espacio es siempre una preocupación, y mientras que las grandes instalaciones

de generación distribuida pueden requerir varios sistemas de los edificios o casas de máquinas, muchos sistemas y componentes pueden caber en un área del tamaño de una plaza de aparcamiento para un coche medio.

Una planta de energía puede ser montada a partir de unidades más pequeñas para cumplir el requisito de potencia de prácticamente cualquier carga. Las unidades más pequeñas de generación son fáciles de instalar y operar. La mayoría de los fabricantes proporcionan protección estándar y equipos de control adecuados para aplicaciones de generación distribuida sin equipo externo. El uso de productos estándar del fabricante reduce el tiempo desde el concepto hasta la producción de energía.

Las empresas de servicios eléctricos han estado en el negocio de la generación distribuida durante años, en arrendamientos grandes, montados en remolques de generadores de diesel para el funcionamiento de subestaciones selectos en momentos de carga máxima, como durante el aire acondicionado en temporada de verano. Las compañías de servicios también utilizan sus propios contenedores de diesel, motores generadores en aplicaciones de generación distribuida conectados a varios puntos en sus sistemas de distribución. Los sistemas autónomos permiten a los operadores de servicios públicos controlar y cargar estos generadores de forma remota, lo que maximiza los beneficios económicos.

Las empresas de servicios públicos eléctricos ven la generación distribuida como medio de planificación de la distribución del sistema. La construcción de cualquier tipo de planta eléctrica de transporte requiere tiempo, al igual que la mejora de los recursos de transmisión y distribución. Con frecuencia es rentable para una empresa de servicios para identificar y convencer a los clientes que ya tienen capacidades de generación, tales como hospitales y plantas de fabricación que firman un contrato de servicio ininterrumpible o un acuerdo de re-compra de energía sería beneficioso.

Los consumidores de energía eléctrica que son requeridos para tener generadores de reserva o de emergencia por los códigos o reglamentos aplicables se les dan la oportunidad de recuperar los costos de capital de la instalación de generación requerida. Para un número relativamente bajo de horas de funcionamiento al año, los clientes pueden disfrutar durante todo el año un ahorro en su factura de servicios públicos eléctricos.

Tamaño relativo de la generación distribuida

<i>Clase</i>	<i>Tamaño Relativo</i>
Micro generación distribuida	~1 Watt < 5 kW
Pequeña generación distribuida	5kW < 5 MW
Mediana generación distribuida	5MW < 50MW
Gran generación distribuida	50MW < ~300MW

Tabla 2.1 potencia de la generación distribuida.

2.2 Tecnologías de la generación distribuida.

Cinco tecnologías de generación se han convertido en líderes en el mercado de generación distribuida:

1. Energía solar fotovoltaica.
2. Energía eólica.
3. Pilas de combustible.
4. Microturbinas.
5. Moto-generadores.

Estas cinco tecnologías tienen limitaciones en su aplicación y operación que los hacen más o menos adecuados para satisfacer los distintos objetivos de la instalación de generación distribuida. Hay varios factores que influyen en la elección de la tecnología de generador para una aplicación determinada:

- Disponibilidad y tipo de combustible
- El espacio disponible y los espacios libres necesarios para los equipos
- Condiciones ambientales
- La frecuencia y el tipo de mantenimiento requerido

1. Energía Solar Fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico solar genera energía eléctrica a partir de la luz solar. Las células solares convierten la energía luminosa en energía eléctrica. La energía solar fotovoltaica no tiene costos de combustible en curso; la luz solar es una fuente gratuita de combustible para los paneles solares. Sin embargo, como los sistemas solares fotovoltaicos sólo generan energía cuando el sol brilla, su aplicación es limitada.



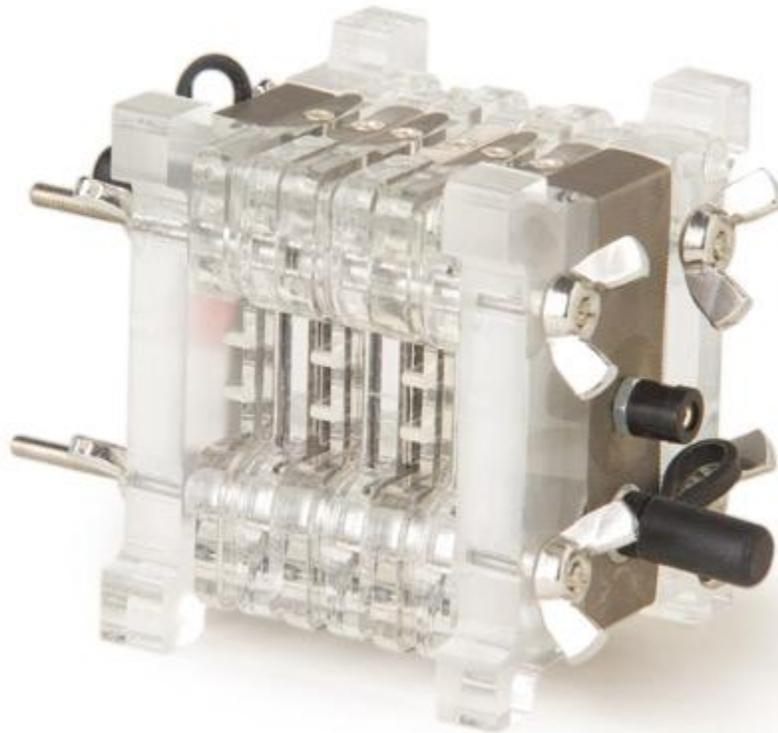
2. Energía Eólica

La energía eólica es la energía eléctrica generada a partir del viento. Los aerogeneradores son generadores movidos por el viento que empuja contra las aspas del ventilador. Al igual que la energía solar fotovoltaica no tiene costos de combustible en curso, pero ha limitado las aplicaciones (ya que el viento es una fuente gratuita de combustible para turbinas y sistemas de energía eólica sólo generan energía cuando sopla el viento).



3. Pilas de Combustible

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que utilizan los principios para convertir abastecimiento externo de hidrógeno y el oxígeno en electricidad, calor y agua prácticamente sin emisiones. Las pilas de combustible son esencialmente las baterías que tienen un suministro de combustible en lugar de almacenar energía. Las pilas de combustible no tienen partes móviles y son excepcionalmente tranquilas. Las células de combustible funcionan en una variedad de combustibles, son modulares y pueden conectarse en paralelo para satisfacer prácticamente cualquier requisito de potencia. Las pilas de combustible pueden tener temperaturas de operación extremadamente altas y son particularmente adecuados para producción combinada de calor y las instalaciones eléctricas. Las aplicaciones combinadas de calor y poder utilizar la energía, tanto térmica y eléctrica es a partir de la tecnología de la generación distribuida en el sitio.



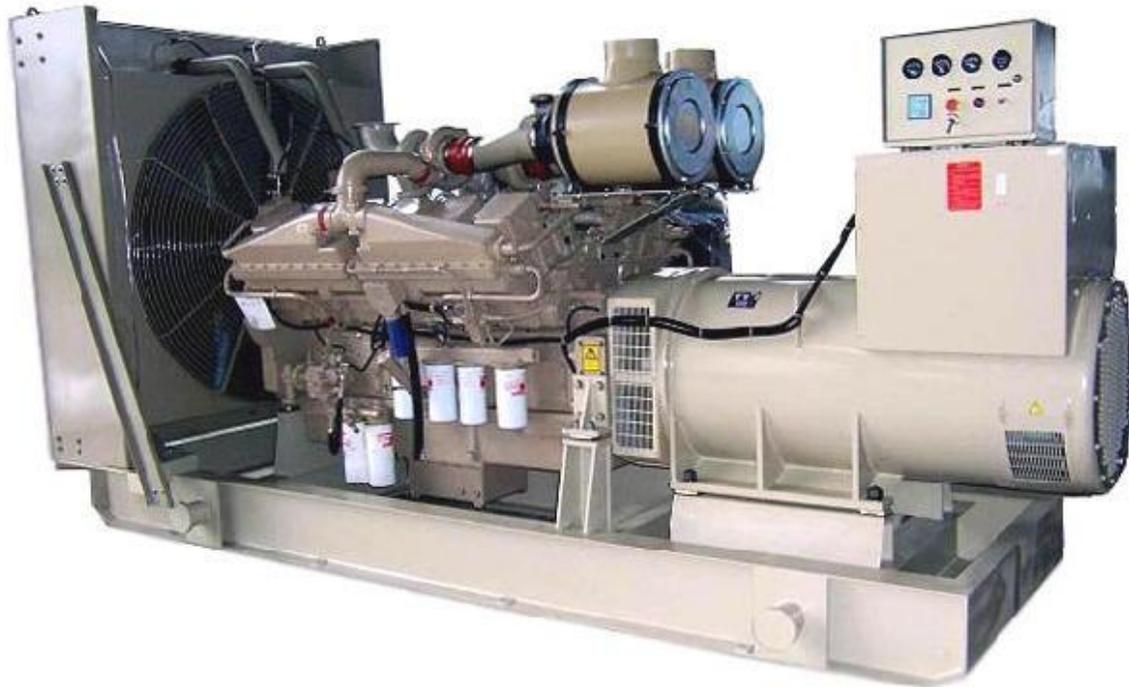
4. Microturbinas

Las microturbinas son pequeñas, solo son turbinas de combustión por etapas que consisten en un compresor, cámara de combustión, la turbina, el generador, recuperador, y el controlador de corriente. Las microturbinas funcionan en una variedad de combustibles, son modulares y pueden conectarse en paralelo para satisfacer cualquier requisito de potencia. Como las células de combustible, también tienen altas temperaturas de funcionamiento y son particularmente adecuados para la producción combinada de calor y aplicaciones de potencia.



5. Moto-Generador

Los moto-generadores son generadores accionados por un motor de combustión interna. Los moto-generadores son alimentados por una variedad de combustibles gaseosos y líquidos, y están disponibles en la mayoría de fase nominal y configuración de voltaje, incluyendo una sola fase y 3 fases; de baja y media tensión, con valores de potencia hacia arriba de 2000 KW. Los moto-generadores son modulares y se pueden usar en paralelo para cubrir cualquier requisito. Pueden estar ubicados físicamente en casi cualquier lugar.



Aunque la red eléctrica en México opera en una corriente alterna (ac) la frecuencia de 60 ciclos por segundo, o 60 Hz, algunas tecnologías de generación puede producir corriente directa (por ejemplo, matrices solares y pilas de combustible) o de corriente alterna de algunos, su frecuencia es de 60 Hz (por ejemplo, turbinas eólicas de baja velocidad y microturbinas). La potencia de estas tecnologías debe ser convertida en una corriente alterna, para que la forma de onda sea compatible con la frecuencia de 60-Hz de la red eléctrica.

La generación distribuida, comprende sólo a ciertas tecnologías aplicadas a la conversión de energía primaria en electricidad. Algunas de estas tecnologías no son nuevas sino que por el contrario, son tecnologías maduras que tienen tiempo en el mercado.

Por otra parte, los cambios en la industria del suministro de electricidad y el desarrollo tecnológico, están impulsando, competitivamente, al avance de algunas nuevas tecnologías de generación, permitiendo así, su desarrollo hacia la etapa de comercialización.

En la actualidad, hay una variedad amplia de tecnologías disponibles en el mercado para la generación distribuida.

Tecnologías para la generación distribuida

Tecnología	Tamaño típico disponible por modulo
Turbinas a Gas de Ciclo Combinado	35–400 MW
Motores de Combustión Interna	5KW–10 MW
Turbinas de Combustión	1–250 MW
Micro-Turbinas	35 KW–1MW
Renovables	
Pequeñas Hidros	1–100 MW
Micro Hidros	25 KW–1MW
Turbinas de Eólicas	200 W–3MW
Arreglos Fotovoltaicos	20 W–100 KW
Solar térmica, receptor central	1–10 MW
Solar térmica, sistema Lutz	10–80 MW
Biomاسas, por ejemplo, basados en Gasificación	100 KW–20 MW
Celda de combustible, ácido fosfórico	200 KW–2MW
Celda de combustible, carbonato fundido	250 KW–2MW
Celda de combustible, intercambio de Protones	1 KW–250 kW
Celda de combustible, óxido sólido	250 KW–5MW
Geotérmico	5–100 MW
Energía del océano	100 KW–1MW
Motor Stirling	2–10 KW

Tabla 2.2 Tecnologías para la generación distribuida.

Generación pasiva contra activa

La generación distribuida también se puede dividir en las tecnologías de generación pasiva y activa. La generación pasiva es la tecnología de generación que no tiene control sobre la entrada de combustible o la potencia de salida del sistema, tales como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Energía solar fotovoltaica sólo genera energía cuando el sol brilla, y la energía eólica sólo genera energía cuando el viento sopla. La generación pasiva no podrá ser enviada, es decir, el nivel de salida de generación pasiva no se puede aumentar en respuesta al aumento de la carga.

La generación activa es la tecnología de generación que tiene control sobre el combustible y la potencia de salida del sistema, tales como las células de combustible, microturbinas y motores generadores. La generación activa puede ser enviada, es decir, el nivel de salida de generación activa se puede aumentar en respuesta al aumento de la carga.

2.3 Objetivos de la Generación Distribuida.

La generación distribuida puede ser seleccionada, ajustada, y destinada a cubrir uno o varios objetivos tales como la reducción de la factura de servicios públicos de electricidad, mejorando la confiabilidad del sistema eléctrico para mejorar la recuperación de emergencia o legalmente exigida para los sistemas de reserva, la venta de energía y la generación de energía amigable del medio ambiente.

La reducción de la factura de servicios públicos eléctricos

El objetivo fundamental de la instalación de generación distribuida es reducir la factura eléctrica. La generación distribuida puede reducir la factura de servicios públicos de electricidad al reducir el consumo de energía y los picos de demanda de la empresa eléctrica. La demanda máxima se define como la tasa máxima de consumo de energía de los consumidores en un determinado período de tiempo durante el ciclo de facturación. La generación distribuida puede reducir la demanda pico como se ve por la compañía eléctrica si la generación distribuida suministra una porción de la carga en el sitio durante el periodo de demanda, un pico durante el ciclo de facturación.

Mejorar la confiabilidad del sistema

La fiabilidad de la fuente de alimentación eléctrica se puede mejorar mediante la instalación de generación distribuida. La generación distribuida puede reforzar la red de suministro eléctrico durante las horas pico de carga y, si es necesario se aísla, o se desconecta de la red y opera de forma independiente durante los apagones. Si la generación distribuida se espera que opere de manera aislada y alimentar la carga durante un corte de energía, la fuente debe ser de un tamaño más grande que la carga conectada y la tecnología de generación debe ser capaz de operar independientemente de la red de servicios eléctricos.

Mejoramiento y recuperación de la inversión de emergencia o legalmente exigida para los sistemas de reserva

Algunos sistemas de generación se instalan como emergencia o legalmente exigida para los sistemas de reserva cuando sea requerido por los códigos, como en hospitales y edificios de gran altura, emergencia o legalmente requeridos sistemas de reserva, que puede ser cualquiera de las células de combustible o ciertos tipos de moto-generadores, se puede conectar a la red de distribución eléctrica y operado como la generación distribuida para recuperar los costos de instalación de estos sistemas requeridos.

Venta de energía

La generación distribuida puede ser instalada para cumplir con el objetivo de vender energía. En este caso, la salida de las fuentes de generación distribuida debe exceder la carga en el sitio. Es importante para seleccionar las tecnologías de generación que sean rentables en comparación con el costo de la energía eléctrica.

La generación de energía amigable con el medio ambiente

La generación distribuida puede ser instalada para generar energía amigable al medio ambiente. La energía solar fotovoltaica y la energía eólica no tienen ninguna emisión. Las pilas de combustible y microturbinas (cuando funciona con hidrógeno creado por electrólisis utilizando energía solar fotovoltaica o eólica) tampoco generan ninguna emisión. Los motores-generadores que funcionan con combustibles gaseosos tales como gas natural o propano tienen bajas emisiones.

2.4 Compañías eléctricas en la generación distribuida.

Las empresas de servicios eléctricos tienen dos preocupaciones principales con la generación distribuida: la seguridad de aquellos que utilizan o trabajan en la red de distribución eléctrica y la confiabilidad de la energía. Evalúan la seguridad y la fiabilidad de las propuestas de sistemas de generación distribuida y equipos, las compañías eléctricas utilizan el proceso de generación de aplicaciones distribuidas.

El proceso de solicitud se inicia habitualmente por la realización y la presentación de una solicitud de interconexión a la empresa de servicios eléctricos. Este proceso se lleva a cabo mediante una reunión de la compañía de electricidad, para examinar las características del sistema de los proveedores de redes de transporte eléctrico, los aspectos técnicos de la interconexión propuesta, los estudios existentes, y los resultados de la aplicación de las pantallas técnicas, si es correspondiente. Las pantallas técnicas se utilizan para simplificar el proceso de generación de aplicaciones distribuidas para sistemas y equipos que suponen ningún impacto adverso a la seguridad del sistema o pantallas de seguridad técnicas son aplicables a sistemas relativamente pequeños y sistemas basados en inversor. Estos sistemas y equipos podrán ser autorizados a renunciar a la evaluación o estudios antes de la firma de un acuerdo de interconexión.

Después de esta reunión, la empresa eléctrica lleva a cabo un estudio de viabilidad, que es una evaluación técnica preliminar de la interconexión propuesta. Si los resultados de este estudio son positivos, entonces la compañía realiza una evaluación más detallada de los efectos de la interconexión, conocida como estudio de impacto en el sistema, que determina el posible efecto en el sistema eléctrico del proveedor de transmisión y sistemas afectados. En ocasiones, el estudio de viabilidad se incorpora en el estudio de impacto del sistema. El estudio final es un estudio de las instalaciones y determina que modificaciones deben hacerse al sistema de distribución de la

empresa de servicios eléctricos, incluidos los costos detallados y fechas previstas de finalización de estas modificaciones. El dueño de la generación distribuida es típicamente responsable por los costos asociados con el proceso de solicitud y, los estudios y las modificaciones requeridas al sistema de la empresa de electricidad. Al completar con éxito el proceso de generación de aplicaciones distribuidas, el operador de la generación distribuida y la utilidad eléctrica firman un acuerdo de interconexión.

El acuerdo de interconexión es el contrato entre el operador de la generación distribuida y la empresa de servicios eléctricos que describe las responsabilidades de todas las partes para la instalación, operación y mantenimiento. Los acuerdos de interconexión típicos incluyen los requisitos contractuales y técnicas, tales como:

- Establecimiento del punto de generación distribuida de interconexión
- Limitaciones de exportación de generación de energía
- Requisitos para pruebas y mantenimiento de registros
- El derecho de acceso de los equipos de instalación, desmontaje e inspección
- Los requisitos de medición

El acuerdo de interconexión también describe otros requisitos no técnicos contractuales, tales como facturas, pagos, seguros, acceso, y otras responsabilidades, etc.

Los beneficios aportados por la generación distribuida son importantes de considerar, ya que en base a estos, es como se logra tomar las decisiones y decidir si se trabajará o no con alguna de las tecnologías.

Resumiendo las características de la generación distribuida, estos son los grandes beneficios que se aportan tanto a los consumidores, como a la empresa encargada del suministro eléctrico y a la nación, todo esto con el objetivo de ser amigables con el medio ambiente:

Beneficios al consumidor

- Asegura la confiabilidad del suministro eléctrico.
- Provee la adecuada solución energética en la ubicación apropiada.
- Provee calidad de suministro de energía, necesaria en muchas aplicaciones industriales.
- Ofrece ganancia en la eficiencia para aplicaciones en sitio, ya que disminuye las pérdidas de transmisión y mejora la eficiencia global con el uso del calor recuperado.
- Permite el ahorro en los costos de la electricidad, al lograr la suavización de los picos.
- Provee una opción de potencia de respaldo, en áreas donde no hay sistema de transmisión y distribución.
- Permite la generación de energía con alta eficiencia y emisiones contaminantes casi nulas.
- Provee una alternativa al usuario para satisfacer sus requerimientos de energía.
- Provee flexibilidad de instalación por su tamaño reducido, alto desempeño ambiental y flexibilidad de combustibles.

Beneficios a la empresa de suministro

- Limita la exposición del capital y riesgo debido al tamaño, flexibilidad de ubicación y rápido tiempo de instalación.
- Evita el uso de capital innecesario por el ajuste rápido de la capacidad al crecimiento de la demanda.
- Evita grandes inversiones en la actualización de los sistemas de transmisión y distribución, por la instalación de la generación cercana al usuario.
- Ofrece un costo de entrada relativamente bajo, en un mercado competitivo.
- Abre mercados en remotas áreas sin sistemas de transmisión y distribución, al igual que áreas sin servicio eléctrico, debido a consideraciones ambientales.

Beneficios a la nación

- Reduce emisiones de gases de efecto invernadero, a través del aumento de la eficiencia y el potencial uso de fuentes renovables.
- Responde al crecimiento en la demanda de energía y consideraciones de emisiones contaminantes, mientras provee energía a bajo costo para mantener la competitividad en el mercado mundial.
- Establece una nueva industria con grandes ventas y cientos de trabajos.
- Aumenta la productividad, a través de la mejora en la confiabilidad y entrega de calidad de energía.

Capítulo 3

Fundamentos de sistemas fotovoltaicos.



3.1 El sol.

El **Sol** es la estrella más próxima a la Tierra y nuestra fuente energética desde los primeros tiempos. Ocupa la posición central del sistema que lleva su nombre y dista de la Tierra una media de 149,5 millones de kilómetros. Está formado por hidrógeno (90%), helio (7%) y otros componentes. Su potente fuerza de gravedad como consecuencia de su masa –contiene el 99% de la masa del sistema solar–, es el motor de los nueve planetas.

La luz, sea ésta de origen solar, o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, que están agrupadas dentro de un cierto rango, llamado *espectro luminoso*. Las ondas de baja frecuencia del espectro solar (infrarrojo) proporcionan calor, las de alta frecuencia (ultravioleta) hacen posible el proceso de fotosíntesis o el bronceado de la piel. Entre esos dos extremos están las frecuencias que forman la parte visible de la luz solar. La intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia. La luz solar es un conjunto de radiaciones electromagnéticas similares a las ondas de radio pero de mayor frecuencia.

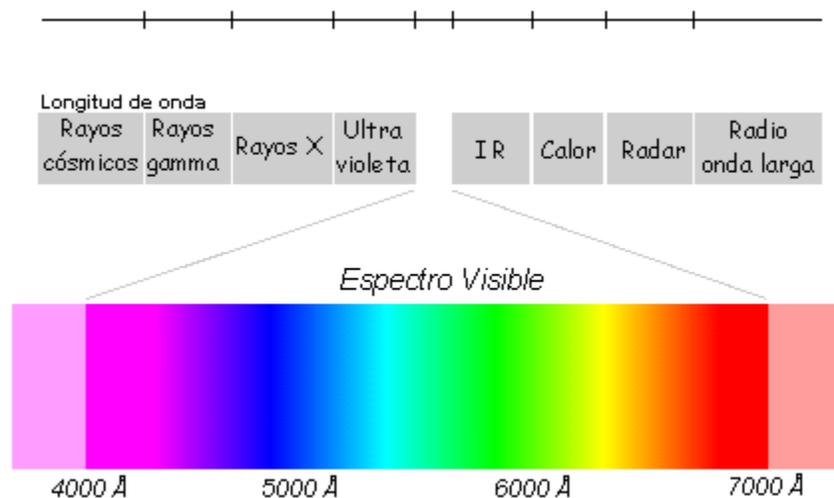


Figura 3.1 Espectro luminoso.

La radiación solar incide sobre la superficie terrestre después de atravesar nuestra atmósfera, en la que se debilita como consecuencia de los reflejos y la absorción de energía en las nubes, las cuales presentan diferentes estados que determinan la magnitud de la recibida. La radiación solar es originada por las reacciones nucleares que ocurren en los materiales que forman el Sol. El Sol no emite calor sino radiación. El efecto de esta radiación es el calentamiento de los cuerpos donde la misma incide.

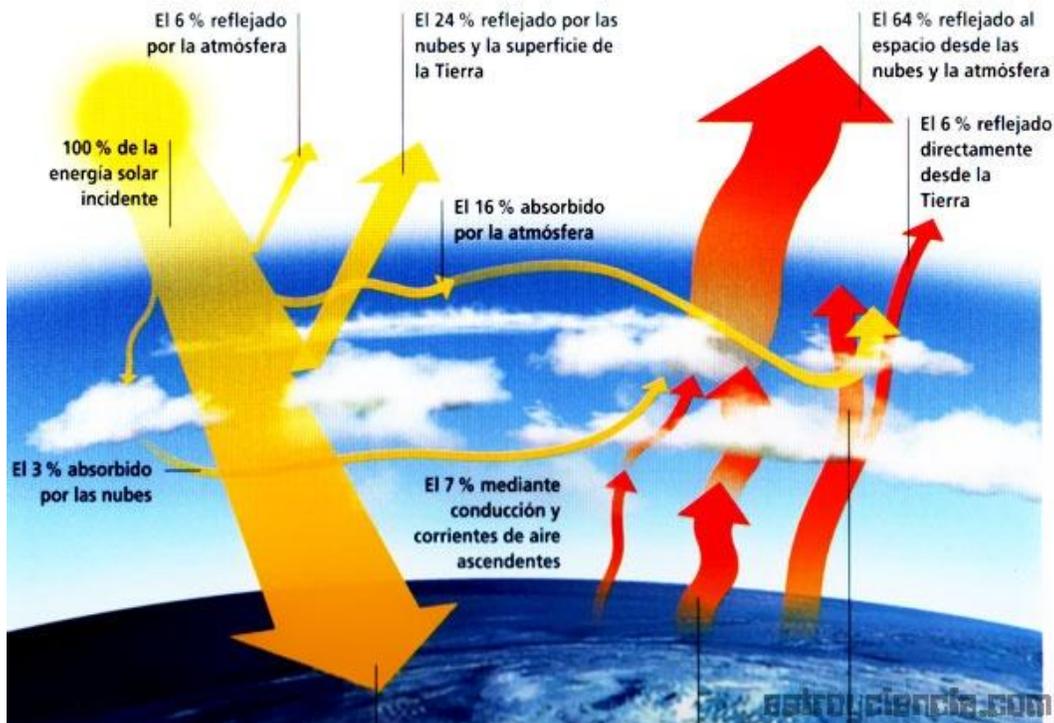


Figura 3.2 Radiación solar emitida sobre la Tierra.

Irradiación es el valor de la potencia luminosa. Los fabricantes de paneles fotovoltaicos determinan la máxima potencia eléctrica de salida **usando una fuente con una potencia luminosa de 1 KW/m²**. Este valor, conocido con el nombre de Sol, se ha convertido en un estándar para la industria, facilitando la comparación de paneles de distintos orígenes. Recordando que 1 m² = 10.000 cm², y que 1 KW = 1.000 W, se tiene que:

$$1 \text{ SOL} = 1 \text{ KW/m}^2 = 100 \text{ milliwatts/cm}^2$$

Las dos cantidades son usadas, indistintamente, en las especificaciones de paneles fotovoltaicos.

3.2 Energía solar fotovoltaica.

Los sistemas solares fotovoltaicos son ideales para lugares alejados de la red convencional de energía eléctrica. Por su versatilidad, prácticamente pueden ser utilizados por cualquier equipo que funcione con electricidad. Sus aplicaciones son ilimitadas, ya que transforman directamente la energía del Sol en energía eléctrica, sin intervenir otra forma de energía.

Además de sus innumerables aplicaciones, los sistemas solares tienen grandes beneficios al compararlos con otras fuentes de energía:

- No requieren combustible
- Mínimo mantenimiento
- Fuente inagotable de energía (el Sol)
- Sistemas modulares
- Larga vida (más de 25 años)
- No tienen partes móviles
- No contaminan
- Sistemas silenciosos
- Fácil transportación
- Equipo resistente al medio ambiente extremo

La **energía solar fotovoltaica** es un tipo de electricidad renovable (energía eléctrica, -voltaica) obtenida directamente de los rayos del sol (foto-) gracias a la foto-detección cuántica de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina. También están en fase de laboratorio métodos orgánicos.

La conversión fotovoltaica de la energía solar es una de las formas más evolucionadas de aprovechamiento de ese recurso energético. En efecto, se trata de una conversión directa en energía eléctrica sin pasos de transformación intermedios. Se aprovecha de forma eficiente el efecto fotovoltaico consistente en la aparición de una diferencia de potencial en un dispositivo cuando este es iluminado. El indudable interés práctico de tal fenómeno pronto quedó demostrado al convertirse en un método, casi insustituible, de provisión de energía a los satélites y otros ingenios espaciales.

Las aplicaciones terrestres de la conversión fotovoltaica tienen un sitio cada vez más notable al haberse producido una continua mejoría de los rendimientos de conversión y un paralelo decrecimiento de los precios unitarios. Asimismo las sucesivas crisis de las fuentes de energía convencionales, por escasez, contaminación o deterioro del medio ambiente, han servido de estímulo al desarrollo de nuevos dispositivos y procesos; así como de nuevas aplicaciones y ensayos experimentales. Puede decirse que en la actualidad existen productos consolidados no solo en el mercado espacial sino también en el mercado terrestre.

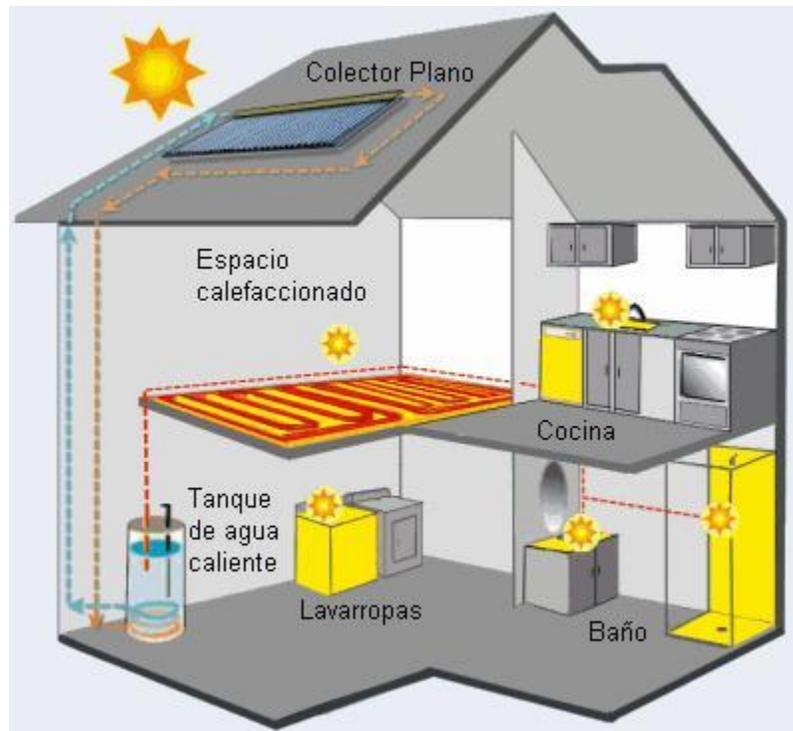


Figura 3.3 Aplicaciones en una casa de la energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica corresponde a un sistema directo de conversión, ya que los fotones de radiación solar interactúan de modo directo sobre los electrones del captador fotovoltaico para dar lugar al efecto fotoeléctrico y en él, a la generación de corriente eléctrica.

El componente básico de este modo directo de conversión de la energía es la denominada célula solar, con la que se construyen los paneles o módulos solares, los cuales proporcionan una corriente eléctrica de valor dependiente de la energía solar que incide sobre su superficie.

Un conjunto de componentes complementarios al panel permiten acumular la energía eléctrica para utilizarla en tiempos diferentes a los de su obtención, cambiarla de formato a corriente alterna para alimentar electrodomésticos, y adaptarla para su inyección a las redes públicas de distribución de energía eléctrica, operación esta última que requiere de sincronización de fase.

3.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas.

Si bien es cierto que las instalaciones fotovoltaicas pueden ser clasificadas en mención de muy diversos criterios, la clasificación genérica más extendida es la que agrupa a las instalaciones fotovoltaicas dentro de dos categorías, atendiendo a la posibilidad de estar o no conectadas a una red de distribución eléctrica pública. Según este criterio, las instalaciones se clasifican en:

- a) Instalaciones o sistemas autónomos de la red eléctrica.
- b) Instalaciones o sistemas conectados a la red eléctrica.

Instalaciones o sistemas autónomos de la red eléctrica

En éstos, la energía eléctrica producida se utiliza para pequeños consumos, situados en el mismo lugar (o en sus cercanías) de la instalación. Las aplicaciones más comunes son:

- Electrificación de viviendas alejadas a la red eléctrica
- Aplicaciones agrícolas y ganaderas: bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas...
- Señalización y comunicaciones: navegación aérea y marítima, señalización de carreteras, repetidores de telecomunicaciones...
- Iluminación pública de calles, monumentos, paradas de autobuses...
- Sistemas de depuración de aguas

En estas aplicaciones, a fin de disponer de electricidad durante la noche o en periodos de poca insolación, se hace necesaria la acumulación de energía eléctrica, generalmente mediante baterías o acumuladores, con el correspondiente controlador de carga o regulador. Si la energía eléctrica se utiliza en forma de corriente alterna, se hace necesario, además, un inversor.

La figura siguiente ilustra de forma esquemática, los componentes de un sistema fotovoltaico autónomo o aislado de la red eléctrica.

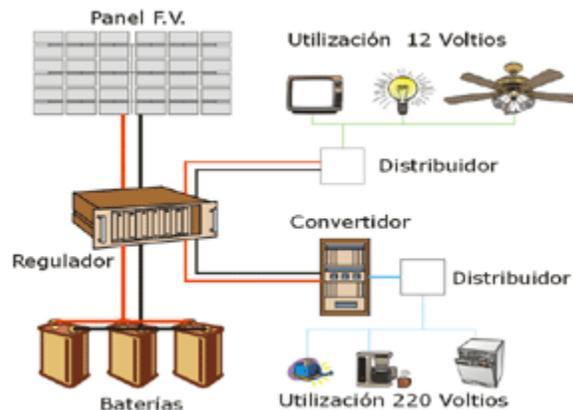


Figura 3.4 Instalaciones o sistemas autónomos de la red eléctrica.

Estos sistemas deben dimensionarse adecuadamente para satisfacer la totalidad de las necesidades energéticas, a menos que se disponga de un sistema de apoyo convencional, como por ejemplo, un grupo electrógeno alimentado con combustibles fósiles.

Existe también la variante de sistema autónomo híbrido, en el que se persigue diversificar las fuentes de suministro energético mediante la instalación de generadores fotovoltaicos, eólicos, minihidráulicos y convencionales (por ejemplo, grupos electrógenos) gestionados convenientemente.

En los sistemas fotovoltaicos autónomos, se recomienda el uso de receptores eléctricos (electrodomésticos, lámparas, electrobombas) de bajo consumo y alto rendimiento, a fin de reducir, en lo posible, el dimensionado de los componentes del sistema

Instalaciones o sistemas conectados a la red eléctrica

En éstos, una fracción o la totalidad de la energía eléctrica se entregan a la red eléctrica. La diferencia entre la energía eléctrica entregada por la instalación fotovoltaica a la red eléctrica y la que consume la instalación fotovoltaica, es facturada a un precio reglamentariamente establecido por la administración –o bien pactado con la compañía– y supone un ingreso económico mientras que la energía eléctrica consumida por el resto de las instalaciones debe comprarse a la compañía distribuidora al precio del mercado. En este tipo de instalaciones no es necesario, por tanto, vincular el dimensionado de la instalación fotovoltaica al consumo estimado de la instalación eléctrica que debe alimentarse, pues esta última se alimenta directamente de la red eléctrica como una instalación eléctrica convencional. Actualmente con el objeto de incentivar la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, las administraciones aplican una importante prima para que el precio del KWh vertido a la red resulte lo suficientemente elevado para que las inversiones realizadas se amorticen en un tiempo razonable.

Una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica tiene menos componentes que una instalación autónoma debido fundamentalmente, a que no se precisa de un sistema de almacenamiento de energía (baterías) ni en consecuencia de un regulador en efecto, en estas instalaciones, la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos pasa directamente al inversor, que la transforma y entrega –traspasar por los elementos de medida y protección correspondientes– como corriente alterna a la red.

Se distinguen dos tipos de aplicaciones principales:

- Centrales fotovoltaicas, en las que toda la energía producida se inyecta a la red eléctrica.
- Sistemas integrados en edificios, donde la energía producida satisface una parte de la demanda eléctrica del edificio en las horas de gran consumo y la energía sobrante en las horas de menor consumo se vende a la red eléctrica. Por la noche o siempre que la producción fotovoltaica sea inferior a la demanda de electricidad, la red eléctrica suministra la diferencia. También existe la posibilidad de vender toda la energía a la red y comprar la que se consume, según se ha comentado. En todos los casos, deben instalarse al menos, dos contadores: uno de exportación y el otro de importación, para contabilizar la energía vendida y comprada a la red. En este tipo de instalaciones es muy importante que la instalación quede bien integrada en el edificio. En algunos casos, los paneles fotovoltaicos pueden llegar a sustituir una parte de los elementos de construcción del edificio, produciéndose un ahorro adicional. El objetivo que se persigue en estas instalaciones en edificio es el aprovechamiento de las posibilidades arquitectónicas que ofrecen los tejados y las fachadas para instalar los captadores fotovoltaicos y reducir total o parcialmente–, de este modo, la compra de energía a las redes eléctricas convencionales.

La figura siguiente muestra los componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

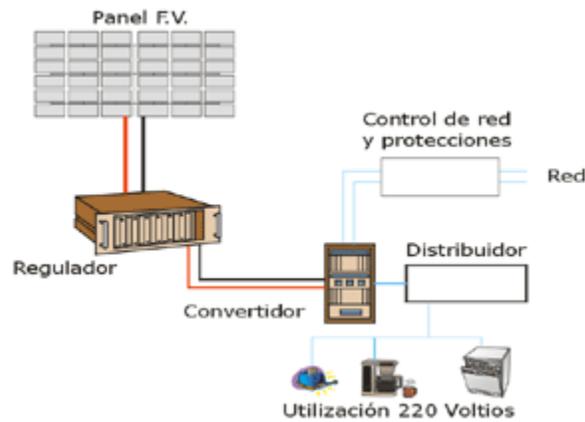


Figura 3.5 Instalaciones o sistemas conectados a la red eléctrica.

Haciendo un balance generalizado entre los sistemas independientes y/o aislados de la red eléctrica, se tiene en conclusión la siguiente tabla.

	Interconectado	Aislado
Costos iniciales	Económico	Costoso por baterías
Costo de mantenimiento	Sólo limpieza	Cambio de baterías
Flexibilidad	No hay problema por sobre uso	No se puede gastar más de lo que se calcula
Independencia	Dependencia de la red eléctrica	Totalmente independiente
Obligaciones legales	Se necesitan hacer contratos con la compañía encargada del suministro	No se debe avisar ni pedir permiso a nadie
Implementación	Fácil instalación	Mayor complejidad

Tabla 3.1 Diferencia entre un sistema aislado y uno conectado a la red eléctrica.

3.4 Componentes de un sistema fotovoltaico.

Una instalación solar fotovoltaica consta, o puede constar de los siguientes componentes o subsistemas:

- Subsistema de captación de energía
- Subsistema de acumulación de energía eléctrica
- Subsistema de regulación
- Subsistema de adaptación del suministro eléctrico

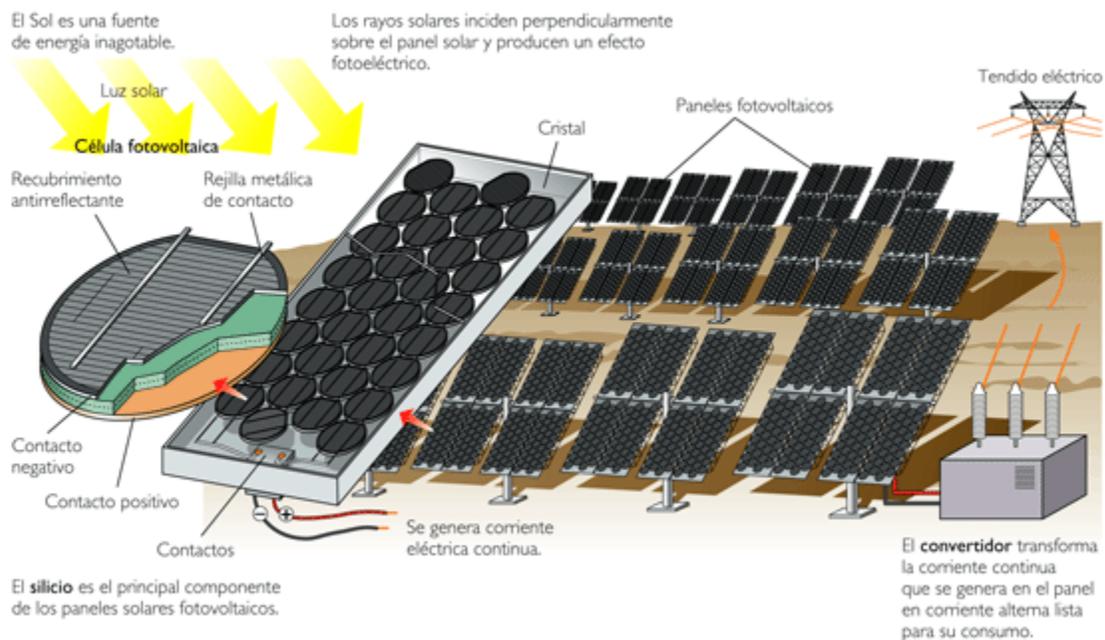


Figura 3.6 Componentes principales de un sistema fotovoltaico.

Si bien los elementos mencionados están perfectamente delimitados, existen otros componentes que pueden afectar a varios subsistemas o incluso a la instalación fotovoltaica en su conjunto. Entre éstos, cabe mencionar:

- Subsistema de transporte de la energía eléctrica,
- Subsistema de control, medida y protección

3.5 Captación de la energía.

Célula solar fotovoltaica

La célula solar es el dispositivo conversor y se fabrica con diversos materiales y tecnologías, en la mayor parte de los casos, materiales y tecnologías también usados en productos microelectrónicos. Esta sinergia es un rasgo característico de la tecnología fotovoltaica, lo que ha repercutido indudablemente en su consolidación, no solamente en las aplicaciones espaciales y terrestres, sino también en el mercado de productos electrónicos de consumo, donde ha alcanzado una posición indiscutible.

La materia base de las células son materiales semiconductores también utilizados en otros dispositivos como diodos, transistores y circuitos integrados. Actualmente existe una amplia gama de células que utilizan diferentes materiales y estructuras. En esta carrera se han conseguido importantes avances. Así, por ejemplo, se han ensayado en laboratorio células con eficiencias próximas al 30% mientras que las fabricadas industrialmente superan, con frecuencia, el 15%.

El **silicio** es un elemento químico de la tabla periódica con número atómico 14 del grupo 14 del carbono, su símbolo es "Si", y es muy abundante en la naturaleza al estar presente en la mayor parte de las rocas. Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (27,7% en peso) después del oxígeno. El silicio es un metaloide semiconductor, que se presenta en dos formas, una amorfa como polvo pardusco y otra cristalina en octaedros de color azul grisáceo y brillo metálico.



Figura 3.7 Silicio, mineral.

Las células fotovoltaicas de silicio pueden obtenerse por la fusión de la arena hasta conseguir un silicio policristalino que por destilación fraccionada produce clorosilano. El lingote monocristalino después de calentado a 1400 °C durante 10 horas es rectificando hasta lograr un diámetro de 6 cm y una longitud de 1 m.

Posteriormente es cortado en placas circulares de 0,4 mm de espesor creando en ellas las zonas de silicio por difusión de átomos de fósforo, metalización de la cara expuesta al sol y vaporización con plata o cobre de la cara posterior.

Las celdas solares empleadas son de *silicio monocristalino*, están protegidas del polvo, humedad e impactos por una cubierta de vidrio termo templado anti reflejante, con bajo contenido en hierro y laminadas entre hojas de polímeros de alta duración, y son resistentes a los rayos ultravioleta y la humedad. Las celdas son interconectadas formando un circuito redundante.

Las células de *silicio cristalino*, algunas con hasta 20 años de garantía y una eficiencia del 18%, comparten el mercado con las células policristalinas. Más económicas pero también considerablemente menos eficientes son las células de capa delgada de silicio amorfo, aplicada en un principio en relojes, calculadoras e ingenios de baja potencia pero también disponibles en módulos para instalaciones de mayor entidad. Se han comenzado a fabricar células de capa delgada de diferentes compuestos semiconductores como el telurio de cadmio diseleniuro indio cobre que prometen eficiencias aceptables combinadas con precios más bajos.

Todos estos argumentos, además de los propios de la energía solar: inagotable, limpia, distribuida, son suficientemente conocidos y no son ajenos al desarrollo de células solares, módulos y aplicaciones que funcionan silenciosamente, y son duraderos y respetuosos con el medio ambiente.

Tipos de células solares

Las células de silicio se pueden fabricar mediante muy diferentes tecnologías y procedimientos para conseguir determinados objetivos de rendimiento de condiciones físicas, tales como la flexibilidad y el espesor. Su elección, por tanto, para las instalaciones fotovoltaicas depende de los objetivos que se deseen conseguir.

Se pueden considerar tres tipos de células disponibles para formar paneles fotovoltaicos comerciales, que son los siguientes:

1. Silicio monocristalino.

Esta versión marcó el inicio de las células solares en 1954. Se recurre para su obtención al método de crecimiento de los cristales denominado Czchralisky, lo que se consigue mediante silicio puro fundido y dopado con boro.

Se distinguen los paneles fotovoltaicos que incorporan estas células por su color azul homogéneo, a diferencia de las distintas tonalidades del azul que presenta el policristalino.

Su rendimiento en instalaciones de obtención de energía eléctrica está situado en la franja de 15 – 18% con respecto a la energía incidente en su superficie.



Figura 3.8 Panel de silicio monocristalino.

2. Silicio policristalino.

Las células de esta versión están compuestas por pequeños cristales elementales que presentan diferentes tonalidades del azul, característica ésta que permite distinguir los paneles solares dotados con estas células.

Sus células tienen menos espesor –solo algunas micras– que las monocristalinas, pero el material semiconductor tiene menos pureza y por tanto ofrece menos rendimiento, el cual está situado entre 12 y 14%.

En su obtención intervienen un número menor de fases de cristalización con respecto a la anterior, lo que reduce su precio en el mercado.

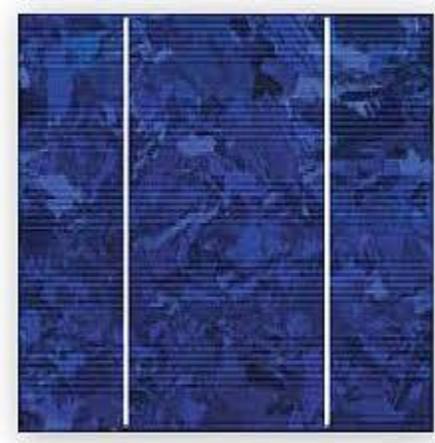


Figura 3.9 Panel de silicio policristalino.

3. Silicio amorfo.

Esta célula de capa delgada de bajo costo permite realizar módulos fotovoltaicos flexibles, lo que está encontrando aplicaciones en las instalaciones fotovoltaicas, a diferencia de su primera utilización: los relojes, calculadoras, etc.

Se forman estas células en láminas muy delgadas –y flexibles–, que pueden adherirse a cualquier soporte de vidrio, plástico o similar.

Presentan un color marrón homogéneo y su rendimiento está por debajo del 10%.



Figura 3.10 Panel de silicio amorfo.

El siguiente cuadro muestra un resumen de los tipos de paneles.

Tipo de célula	Rendimiento	Características
Monocrystalino	15 – 18 %	Cristal único Buen rendimiento Color azul homogéneo
Policristalino	12 – 14 %	Diferentes cristales elementales Precio inferior al del anterior Diferentes tonalidades de azul
Amorfo	< 10 %	Capa delgada Células flexibles en forma de láminas Color marrón homogéneo

Tabla 3.2 Características generales de los paneles de silicio.

Paneles solares

El panel o módulo fotovoltaico (FV) es un sistema captador de la energía solar en el que se tiene lugar una conversión directa para proporcionar corriente eléctrica. Su tamaño (superficie de captación), el rendimiento de sus componentes semiconductores, la irradiación solar en un momento dado y el ángulo sobre el que se proyectan los rayos del sol, determinan la potencia proporcionada.

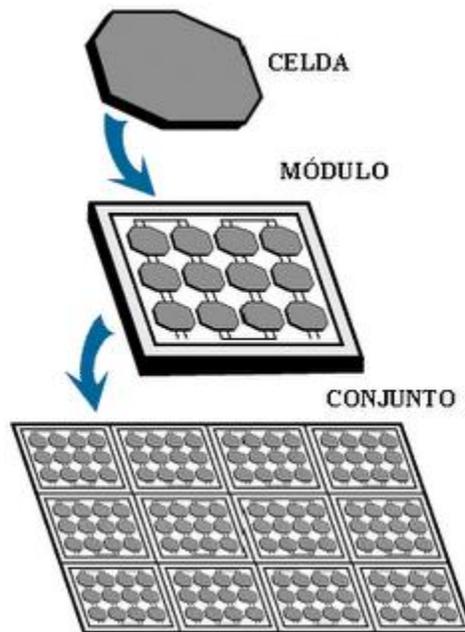


Figura 3.11 Acoplamiento de las células solares en paneles.

El componente básico del panel fotovoltaico es la célula solar, cuyo número y modo de conexión entre ellas determina sus características eléctricas de tensión y corriente.

A partir de 1980 se inició la fabricación a gran escala de paneles solares con destino a lo que actualmente se conoce como instalaciones de energías renovables. En 1991 la potencia mundial instalada con paneles fotovoltaicos alcanzaba ya la cifra de 50 MWp y en 1997 su valor era de 550 MWp, lo que da la idea a su expansión.

La célula solar está basada en silicio, el cual se extrae de la arena común (SiO_2). Intervienen seis procesos principales hasta obtener el módulo solar capaz de proporcionar energía eléctrica:

1. Extracción del oxígeno de la arena para obtener silicio
2. Purificación del silicio
3. Crecimiento
4. Corte para obtener obleas de silicio
5. Formación de la célula
6. Encapsulado de células para formar el panel fotovoltaico

3.6 Acumulación de la energía eléctrica.

Cualquiera que sea su tipo, una planta eléctrica solar tiene una debilidad importante, sólo puede generar electricidad cuando el sol está brillante, durante las noches no hay luz solar, y por lo tanto, no se genera electricidad. Para evadir este problema, una planta solar debe tener alguna forma convencional de soporte de retorno de combustible o bien incorporar almacenamiento de energía. Las celdas solares están frecuentemente acopladas con baterías recargables para proporcionar potencia continua en localidades remotas.

UPS

Un UPS es un sistema de energía ininterrumpible diseñado para proteger los equipos de cómputo y otros dispositivos eléctricos y electrónicos de los problemas causados por las imperfecciones del suministro eléctrico. UPS (siglas en inglés) significa Uninterruptible Power Supply, y es conocido en español como SAI que quiere decir Sistema de Alimentación Ininterrumpida.



Figura 3.12 Distintos tipos de UPS.

Los sistemas para respaldar energía permiten, entregar energía a una carga para que ésta pueda funcionar, la operación normal es tomar la energía de la red y enviarla a la carga. Cuando se produce un corte, del suministro de energía domiciliario, el sistema de respaldo, utiliza una fuente de energía propia para seguir alimentando la carga. Según ésta definición, muchos sistemas podrían ser clasificados como equipos de respaldo, incluso hasta un grupo motor generador con partida automática.

Cuando se trata de alimentar computadoras (utilizando estas como ejemplo), hay que considerar el tiempo de transferencia, es decir cuanto tiempo transcurre: desde que la energía de la red desaparece, hasta que llega la energía propia del sistema de respaldo. La idea es minimizar el tiempo de transferencia, para que la computadora no detecte el corte de energía.

La palabra ininterrumpida, se refiere a que el tiempo de transferencia es cero. En el mercado existen muchos productos que tienen tiempo de transferencia distinto de cero y son mal llamados UPS.

Actualmente existen varias topologías para implementar equipos de respaldo, cada una ofrece diferentes características técnicas. El encargado de seleccionar cual equipo se debe comprar, debe tener un conocimiento básico del tema, debe conocer las partes principales y su función, debe entender las especificaciones del fabricante, y finalmente debe comparar y elegir el producto.

Para entender algunos tópicos relacionados con lo antes mencionado, se analizarán dos tipos de equipos de respaldo, que actualmente son muy utilizados.

Un UPS posee tres módulos fundamentales:

- Rectificador
- Inversor
- Baterías y cargador de baterías

La función del rectificador es tomar la tensión alterna proveniente de la red eléctrica, y convertirla en tensión continua.

La función del inversor es convertir la tensión continua de entrada, en tensión alterna de salida, 110Volts a 60Hz. Este módulo produce la energía que alimenta nuestra computadora.

Las baterías almacenan energía eléctrica, de ellas se obtiene la energía para el funcionamiento del PC cuando no hay energía en la red domiciliaria. La función del cargador de baterías es recuperar y mantener la energía almacenada en las baterías.

Funcionamiento

- Cuando la tensión de la red domiciliaria, está dentro del rango de entrada del UPS, la energía de la red pasa por el rectificador hacia la entrada del inversor, y la salida del inversor alimenta el PC. Las baterías son cargadas.
- Al producirse un corte de energía o si la tensión de la red esta fuera del rango de entrada, las baterías entregan energía al inversor, y la salida del inversor alimenta el PC. Las baterías son descargadas.

En ambos casos el inversor siempre alimenta la carga, y es la entrada del inversor la que se conmuta entre el rectificador y las baterías. Esta acción de conmutación se realiza mediante elementos electrónicos llamados diodos, y no producen interrupción en la tensión de salida y tampoco existe tiempo de transferencia.

Una característica fundamental de este tipo de UPS es que el inversor siempre está funcionando, y para evitar confusión con otros tipos se les llama UPS On Line.

Sistema SPS

La sigla inglesa SPS significa "Stand-byPowerSupply" que se puede traducir como "Fuente de Poder a la Espera". En la actualidad se le denomina UPS Off Line, por su funcionamiento parecido al de un UPS.

Una SPS posee tres módulos fundamentales:

- Inversor
- Relé de transferencia
- Baterías y cargador de baterías

La primera diferencia, no tiene rectificador, esto se refleja en menor costo.

La función del inversor es convertir la tensión continua de entrada, en tensión alterna de salida, 110Volts a 60Hz. Este módulo produce la energía que alimenta nuestra computadora.

El inversor es estos aparatos funciona solo cuando la tensión de la red esta fuera del rango de entrada o cuando hay corte de energía. Esta característica también representa un menor costo, debido a que el inversor esta diseñado para operar por algunos minutos.

El relé de transferencia conmuta el PC entre, la red domiciliaria y la salida del inversor. El relé es un dispositivo electromecánico, cuando conmuta de una posición a otra, se demora aproximadamente entre 5 a 10 ms.

Las baterías almacenan energía eléctrica, de ellas se obtiene la energía para el funcionamiento del PC cuando no hay energía en la red domiciliaria. La función del cargador de baterías es recuperar y mantener la energía almacenada en las baterías.

Funcionamiento

- Cuando la tensión de la red domiciliaria, está dentro del rango de entrada de la SPS, el relé transfiere energía desde la red al PC, en este modo de operación, todas las señales indeseadas presentes en la red, pasan a la carga, es decir no existe un rechazo a los ruidos.
- Al producirse un corte de energía o si la tensión de la red esta fuera del rango de entrada, el inversor comienza a generar sacando energía desde las baterías, y el relé transfiere energía, desde la salida del inversor al PC.

El relé de transferencia tiene tiempo de transferencia, por esto la tensión de salida de un SPS tiene una pequeña interrupción, por ésta razón en estricto rigor no es un UPS

Diferencias Técnicas Principales

- El UPS tiene un mejor rechazo de los ruidos debido a la doble conversión del rectificador más inversor, mientras que un SPS tiene solo una conversión, inversor, y activo solo durante un corte de energía.
- El inversor de un UPS genera tensión con forma de onda sinusoidal, mientras que el inversor de un SPS genera tensión con forma de onda cuadrada, generalmente. La onda cuadrada es una señal con mucha distorsión y en algunas aplicaciones puede causar ruido eléctrico en el monitor de vídeo.
- El SPS no tiene rectificador, su inversor no tiene funcionamiento continuo y es de onda cuadrada, esto implica menor costo, en comparación al de un UPS de igual potencia de salida.
- Un UPS tiene un rango de entrada mayor que un SPS, debido a la doble conversión rectificador más inversor.

Banco de baterías

Es una fuente independiente de energía de corriente directa 125 volts, (en algunos casos 250 volts) formada por un número determinado de celdas conectadas en serie para obtener la tensión requerida. De acuerdo a su electrolito, estas pueden ser de plomo-acido o de níquel-cadmio.



Figura 3.13 Banco de baterías.

El banco de baterías debe mantenerse siempre con un voltaje de flotación, el cual es ligeramente más alto que el nominal del banco, a fin de que este siempre se encuentre a su máxima carga. Para tal fin, se emplea un cargador de baterías automático de la capacidad adecuada a dicho banco. Este cargador de baterías cuenta con sus propias alarmas y debe ser revisado cotidianamente por el personal de operación y mantenimiento, los bancos de baterías se ubican en un local independiente con ventilación promedio de extractores para eliminar concentraciones de hidrógeno el cual es altamente explosivo ante una chispa. Debe considerarse al banco de baterías como el eslabón más importante para la protección de una subestación.

3.7 Regulación de la energía eléctrica.

Subestación

En toda instalación industrial o comercial es indispensable el uso de la energía, la continuidad de servicio y calidad de la energía consumida por los diferentes equipos, así como la requerida para la iluminación, es por esto que las subestaciones eléctricas son necesarias para lograr una mayor productividad.

Las subestaciones son las componentes de los sistemas de potencia en donde se modifican los parámetros de tensión y corriente, sirven además de punto de interconexión para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica y pueden clasificarse de acuerdo a su función y construcción.

Clasificación por su función

- **Elevadoras**

En este tipo de Subestaciones se modifican los parámetros principales en la generación de la energía eléctrica por medio de los transformadores de potencia, elevando el voltaje y reduciendo la corriente para que la potencia pueda ser transportada a grandes distancias con el mínimo de pérdidas. Son las subestaciones que generalmente se encuentran en las Centrales Eléctricas.

Algunos niveles típicos de voltaje usados en los sistemas eléctricos de potencia, se dan en la tabla siguiente, agrupándolos en transmisión, subtransmisión, distribución y utilización.

Transmisión	Subtransmisión	Distribución	Utilización
400 kV	115 kV	34.5 kV	400 V, 3 ϕ
320 kV	69 kV	23.0 kV	220 V, 2 ϕ
		13.8 kV	110 V, 1 ϕ

Tabla 3.3 Niveles de voltaje usados preferentemente en México.

- **Reductoras**

En este tipo de Subestaciones se modifican los parámetros de la transmisión de la energía eléctrica por medio de transformadores de potencia, reduciendo el voltaje y aumentando la corriente para que la potencia pueda ser distribuida a distancias medias a través de líneas de transmisión, subtransmisión y circuitos de distribución, los cuales operan a bajos voltajes para su comercialización.

- **De maniobra**

En este tipo de Subestaciones no se modifican los parámetros en la transmisión de la energía eléctrica, únicamente son nodos de entrada y salida sin elementos de transformación y son utilizadas como interconexión de líneas, derivaciones, conexión y desconexión de compensación reactiva y capacitiva, entre otras.

Clasificación por su construcción

- **Tipo intemperie**

Son las construidas para operar expuestas a las condiciones atmosféricas (lluvia, nieve, viento y contaminación ambiental) y ocupan grandes extensiones de terreno.

- **Tipo interior**

Son Subestaciones que se encuentran con protección de obra civil, similares en su forma a las de tipo intemperie, con el fin de protegerlas de los fenómenos ambientales como son: la

contaminación salina, industrial y agrícola, así como de los vientos fuertes y descargas atmosféricas. También existen, las Subestaciones compactas blindadas aisladas con gas Hexafloruro de Azufre (SF₆), las cuales proporcionan grandes ventajas, ya que además de poder ser diseñadas para operar a la intemperie, estas pueden estar protegidas del medio ambiente con cierta infraestructura civil, reduciendo los costos de mantenimiento; y se aplican generalmente en:

- Zonas urbanas y con poca disponibilidad de espacio.
- Zonas con alto costo de terreno.
- Zonas de alta contaminación y ambiente corrosivo.
- Zonas con restricciones ecológicas.
- Instalaciones subterráneas.

Transformador

El transformador, es la parte más importante de una subestación eléctrica, consta de un embobinado de cable que se utiliza para unir a dos o más circuitos, aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas.

Si se colocan dos bobinas eléctricamente aisladas en forma tal que el flujo variable en el tiempo producido por una de ellas ocasione una fuerza electromotriz (fem) que se inducirá en la otra, se dice que constituyen “un transformador”. En otras palabras, un transformador es un dispositivo que implica bobinas acopladas magnéticamente. Si solo una parte del flujo que produce una de las bobinas se enlaza con la otra, se dice que las bobinas tienen acoplamiento flojo. En este caso, la operación del transformador no es muy eficiente.



Figura 3.13 Transformadores para diversas aplicaciones.

Con objeto de incrementar el acoplamiento entre las bobinas, éstas se devanan sobre un núcleo común. Si el núcleo está hecho de un material no magnético, se dice que se trata de un transformador con núcleo de aire. Cuando el núcleo está constituido por un material

ferromagnético con permeabilidad relativamente alta, se trata de un transformador con núcleo de hierro. Un núcleo magnético sumamente permeable asegura que a) casi todo el flujo que crea una de las bobinas se enlaza con la otra y b) la reluctancia de la trayectoria magnética sea baja. Esto da como resultado una eficiencia de operación máxima del transformador.

En su forma más simple, un transformador consta de dos bobinas eléctricamente aisladas una de otra pero devanadas sobre el mismo núcleo magnético. Una corriente variable en el tiempo en una bobina establece en el núcleo magnético un flujo también variable en el tiempo. Debido a la elevada permeabilidad del núcleo, la mayor parte del flujo se enlaza con la otra bobina e induce en ella una fem variable en el tiempo (voltaje). La frecuencia de la fem inducida en la otra bobina es la misma que la de la corriente en la primera bobina. Si se conecta la otra bobina a una carga, la fem inducida en la bobina establece en ella una corriente. Así, la energía se transfiere de una bobina a otra por medio del flujo magnético en el núcleo.

La bobina a la que la fuente suministra la fuerza se llama devanado primario. La bobina que envía fuerza a la carga se denomina devanado secundario, cualquiera de los devanados puede conectarse a la fuente o a la carga.

Como la fem inducida en una bobina es proporcional al número de vueltas que tiene, es posible que haya un voltaje más elevado a través del devanado secundario que el aplicado al primario. En tal caso se habla de un transformador elevador, el cual se usa para conectar una línea de transmisión de voltaje relativamente alto a un generador de voltaje relativamente bajo. En el caso opuesto, un transformador reductor tiene un voltaje más bajo en el lado secundario. Un ejemplo de un transformador reductor es uno para soldadura, cuyo devanado secundario está diseñado para suministrar una corriente elevada a la carga.

Cuando el voltaje que se aplica al primario es igual a la fem inducida en el secundario, se dice que el transformador tiene una razón uno a uno. Un transformador con razón uno a uno se emplea básicamente para aislar en forma eléctrica el lado secundario del primario. Un transformador semejante recibe el nombre de transformador de aislamiento, y se utiliza para aislar corriente continua (cc). Es decir, si el voltaje de entrada en el lado primario consta de ambas componentes de corriente, corriente continua (cc) y corriente alterna (ca), el voltaje en el lado secundario tendrá naturaleza de corriente alterna pura.

Inversor

Un inversor, también llamado ondulator, es un circuito utilizado para convertir corriente continua en corriente alterna. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para manejar alta potencia. Los inversores también son utilizados para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc.

en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual es utilizado para interrumpir la corriente entrante y generar una onda cuadrada. Esta onda cuadrada alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. Las formas de onda de salida del voltaje de un inversor ideal deberían ser sinusoidales.

Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac's o los IGBT's. Inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda.

Se pueden clasificar en general de dos tipos: 1) inversores monofásicos e 2) inversores trifásicos.

Condensadores e inductores pueden ser utilizados para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador. Además, es posible producir una llamada "onda senoidal modificada", la cual es generada a partir de tres puntos: uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Una circuitería lógica se encarga de activar los transistores de manera que se alternen adecuadamente. Inversores de onda senoidal modificada pueden causar que ciertas cargas, como motores, por ejemplo; operen de manera menos eficiente.

Inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulsos con una frecuencia portadora mucho más alta para aproximarse más a la onda seno o modulaciones por vectores de espacio mejorando la distorsión armónica de salida. También se puede pre distorsionar la onda para mejorar el factor de potencia.

Los inversores de alta potencia, en lugar de transistores utilizan un dispositivo de conmutación llamado IGBT (InsulatedGate Bipolar transistor ó Transistor Bipolar de Puerta Aislada).

Selección de inversor

Cuando el sistema incluye cargas en C.A. se debe seleccionar un inversor, por lo que se consideran varios factores cuando se selecciona.

En primer lugar, el inversor debe tener una potencia continua máxima a la salida de al menos la demanda total en C.A., generalmente se recomienda un inversor ligeramente sobredimensionado para tomar en consideración futuras adiciones de carga. El inversor también debe ser capaz de suministrar corrientes de arranque a las cargas de motores, como es el caso de bombas y compresores, cualquier carga con demanda de corrientes de arranque, se le debe

estimar o medir para asegurar que el inversor seleccionado sea capaz de suministrar estas corrientes mientras alimenta a otras cargas del sistema.

El voltaje de salida es otra consideración, la mayoría de los inversores operando aislados producen ya sea 120V para sistemas monofásicos ó 120/240V para salida con fase dividida o tap. Algunos inversores de potencias mayores se usan para sistemas eléctricos comerciales o industriales y son trifásicos, en forma alternativa se pueden usar inversores en paralelo.

El voltaje de entrada en C.D. para el inversor debe corresponder con cualquiera de los voltajes del arreglo de celdas o paneles para un sistema interactivo o el voltaje del banco de baterías para un sistema aislado.

Eficiencia del inversor

Los inversores no tienen una eficiencia del 100%, se pierde alguna potencia en el proceso de convertir la energía de C.D. en energía de C.A., por lo tanto, se requiere de más energía en C.D. para producir una cantidad de energía en C.A. Los requerimientos de demanda de energía en C.A. y C.D. se usan para determinar la cantidad total de energía en C.D. requerida.

Dimensionado del inversor

Muy pocas cosas se necesitan considerar para el dimensionamiento de un inversor, éste comienza con la evaluación de la carga, que incluye la demanda máxima, así como las cargas normales. El inversor debe usar el voltaje de entrada apropiada y producir el voltaje de salida requerido con la forma de onda adecuada.

Las especificaciones de un inversor varían de un fabricante a otro. Las especificaciones críticas son la eficiencia contra la función de potencia y la potencia de salida contra la función de duración, también depende factores como la latitud de la localización del panel, etc.

3.8 Adaptación del suministro eléctrico.

El efecto fotovoltaico y absorción de la luz

El efecto fotovoltaico es el resultado de la interacción luz- materia consistente en la aparición de una corriente eléctrica en el exterior de un dispositivo cuando éste es expuesto a la luz. Este fenómeno se observa en diversos materiales, siendo los semiconductores en los que puede conseguirse un rendimiento de conversión útil.

La generación de corriente eléctrica se produce una vez que la energía de los fotones incidentes es cedida al material semiconductor, en el que aparece una población de portadores de corriente (electrones y huecos) superior a la de equilibrio. Los excesos de concentración de portadores producidos, que tienen carga de signos opuestos, deben ser separados en el interior del semiconductor para que pueda aparecer corriente eléctrica útil en el exterior. Un método de separación de carga consiste en incorporar en alguna zona del dispositivo un campo eléctrico. El

dispositivo semiconductor más sencillo que reúne esta condición es una unión p-n, puesto que entre ambas regiones se produce, incluso en equilibrio, un campo eléctrico de alto valor. Una unión p-n se convierte, entonces, en una célula solar si se diseña de tal forma que la luz pueda penetrar en el volumen semiconductor.

Cuando un flujo de fotones incide sobre la célula construida a partir de la unión entre semiconductores tipo p y tipo n, parte de ellos son absorbidos en el material. Los fotones que poseen una energía mayor al salto energético entre la banda de conducción y la de valencia pueden ser absorbidos y forzar el salto de un electrón entre estas dos bandas. Como este salto deja un hueco en la banda de valencia, se dice que la absorción de un fotón genera un par electrón — hueco. Si esta generación tiene lugar a una distancia de la unión inferior a la denominada *longitud de difusión* existe una alta probabilidad de que estos portadores de carga eléctrica (el electrón y el hueco) sean separados por el elevado campo eléctrico existente en la unión p—n, produciéndose la separación de ambas cargas: el electrón se desplaza hacia la zona n y el hueco hacia la zona p, creándose con ello, una corriente de electrones desde la zona n a la zona p. Si se conectan ambas regiones mediante un circuito eléctrico exterior, se establece una corriente eléctrica a través de éste. En esto consiste, precisamente, el *efecto fotovoltaico*: es la conversión directa, según el mecanismo que se acaba de explicar, de radiación electromagnética en corriente eléctrica, mediante un dispositivo llamado célula fotovoltaica.

El salto energético entre bandas limita la porción de radiación que puede ser absorbida en un semiconductor. Una célula de silicio puede aprovechar alrededor de un 65% de la radiación solar recibida. En el caso de células construidas a partir de otros semiconductores, con distinta anchura energética de la banda prohibida, la energía mínima de los fotones de la luz incidente para producir pares electrón-hueco es distinta. Así como la fracción de la energía incidente que puede aprovecharse.

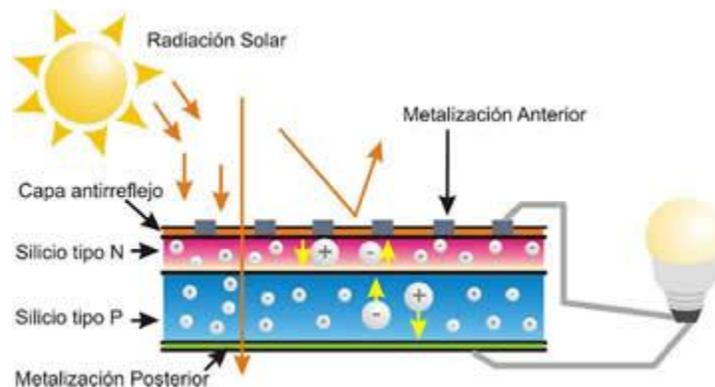


Figura 3.14 absorción de la luz solar en los paneles.

Inmediatamente después de su creación, el electrón y el hueco pueden recombinarse y decaer a sus estados iniciales, no pudiendo ser aprovechados para generar corriente eléctrica. Existe una elevada probabilidad de que esto suceda si la longitud de difusión es muy corta, en cuyo caso, en un corto recorrido, se producirá la recombinación del electrón y el hueco, de forma

que la energía luminosa que, en un principio fue absorbida para crear el par, se recupera en forma de calor, hecho no deseable en las células fotovoltaicas, pues es este uno de los mecanismos más importantes de pérdidas en las células solares. Por este motivo, los pares de portadores creados en las zonas más alejadas de la unión p–n, tendrán pocas posibilidades de alcanzar la unión y contribuir a la generación de corriente eléctrica, a menos que la longitud de difusión sea lo suficientemente grande, para lo cual se precisa que el cristal del semiconductor (típicamente Si) sea estructural y químicamente muy puro, esto es, monocristal y con bajísima concentración de impurezas distintas de las impurezas donadoras y aceptoras.

3.9 Aprovechamiento de la energía solar.

El cambio climático producido por la actividad humana, especialmente por el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón, etc.) que emiten gases contaminantes (CO₂, NO, Co, etc.) nos ha obligado a sustituir estos elementos por otros limpios y renovables. La energía solar es una de las respuestas más claras.

Las mejores posibilidades de captar la energía solar son:

1. Instalaciones solares térmicas. Con ellas se consigue captar el calor del Sol y emplearlo para la calefacción de casas y edificios, calentamiento de agua para necesidades industriales y necesidades domésticas tales como duchas, piscinas, lavabos, etc.
2. Instalaciones solares fotovoltaicas. Con ellas se consigue captar la luz del Sol y convertirla directamente en electricidad.
3. Instalaciones solares termoeléctricas. Son una combinación de las dos anteriores, ya que a partir de la energía recibida del Sol, producen calor y electricidad.

Ventajas y desventajas de los sistemas de energía solar	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Alta fiabilidad (buen diseño del sistema) • Costos bajos de operación • Combustible local (combustibles fósiles no importados) • Larga vida de uso (alrededor de 20 años) • Energía limpia • Producción maximizada en clima seco • No requiere de un operador en el sitio • Bajos costos de operación y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión inicial de capital • Aumento de los costos de almacenamiento de energía • Falta de infraestructura y acceso limitado a servicios técnicos en áreas remotas • Producción de energía variable basada en los cambios de condiciones meteorológicas

Tabla 3.4 Ventajas y desventajas de los sistemas de energía solar.

Capítulo 4

Centrales fotovoltaicas.



4.1 Central Solar Fotovoltaica en Santa Rosalía.

Instalar una central fotovoltaica en México, se ha hecho realidad; el poder crear un mega proyecto de esta magnitud ha sido posible siendo que este país está en una etapa de desarrollo en cuanto a energías renovables. CFE (Comisión Federal de Electricidad) es la compañía que se encarga de suministrar la energía eléctrica en todo el país, es esta misma, y con la colaboración de otras empresas, las encargadas de construir la central fotovoltaica.



Figura 4.1 Vista de los paneles solares de la central de B.C.S.

El proyecto denominado **“Central Solar Fotovoltaica Piloto 1 MW en Santa Rosalía”**, en Baja California Sur, ha representado para México el salto a una nueva era de sistemas fotovoltaicos interconectados a la Red y, Grupo Condumex no podía ser ajeno al reto, por ello, a través de Microm, una empresa especializada en sistemas fotovoltaicos en México, asumió el reto, para desarrollar, construir y llevar a cabo la operación de tan ambicioso proyecto. La empresa Microm ha acordado con la española Isofoton el suministro de paneles fotovoltaicos con seguidores solares, lo que significará según sus promotores en la primera planta de ese tipo que ya está puesto en marcha en el país.

El proyecto de la Central Solar Fotovoltaica de 1 MW en Santa Rosalía B. C. S. fue inaugurado el pasado 12 de octubre de 2012 por el presidente Felipe Calderón H.; esta central está ubicada en un terreno situado al Noreste del Ejido Lic. Alfredo V. Bonfíl, en el Municipio de Mulegú y a aproximadamente 32 km al Noroeste de la población de Santa Rosalía, dentro de la reserva de la Biosfera del Vizcaíno, la central se erige como un ícono a la preservación del medio ambiente y recursos naturales propios de la zona.



Figura 4.2 Mapa de ubicación de la central solar fotovoltaica.

En un área aproximada de 24,500 m², un total de 4,172 paneles fotovoltaicos y 12 seguidores monoje, Santa Rosalía es en México, la central interconectada a red de la CFE más grande en operación. La empresa Isofoton, proveyó un total de 4,172 módulos de su modelo ISF-240, así como los seguidores solares de su gama IsoTracker monoje, también aportó la transferencia de tecnología necesaria para el diseño, planificación y construcción del complejo.



Figura 4.3 Vista aérea de la central solar fotovoltaica.

El proyecto tuvo una inversión de 6,4 millones de dólares (4,5 millones de euros) y es la primera planta fotovoltaica con seguimiento que la Comisión Federal de Electricidad puso en marcha en México; su desarrollo responde a la política energética del Gobierno Federal, que recoge el Plan Nacional de Desarrollo 2007- 2012, que intenta impulsar las energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica.

Debido a que el recurso solar se encuentra en la parte norte del país, forma parte del cinturón solar mundial, es una franja de la tierra con los mejores niveles de incidencia solar donde están los estados de la Península de Baja California y Sonora, son de las regiones con mejores niveles de irradiación con valores superiores a los 5.5 kWh/m² al día como promedio anual. Es esta una razón muy grande por la cual la central se construyó en esta área, sin descartar que se puedan construir en un futuro, más centrales solares con excelente ubicación y un máximo aprovechamiento de la radiación solar en el territorio mexicano.

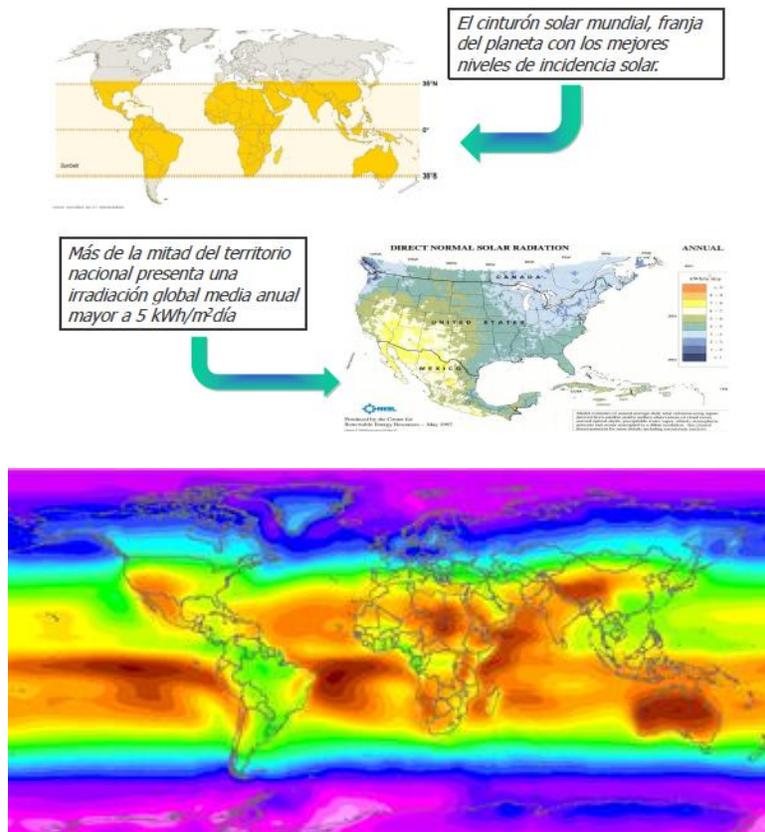


Figura 4.4 Mapa de la franja solar.

La siguiente tabla, muestra un panorama general de las principales características de la central fotovoltaica.

Capacidad	1 MW de potencia
Superficie de captación	10,000 m ²
Módulo fotovoltaico	Silicio policristalino Cert. IEC Seguimiento 1 eje
Inversores	Modulares con certificación UL, IEEE, NEC
Transformador	Elevador a 34,5 kV
Control y monitoreo	Sistema SCADA
Estructura soporte	Acero galvanizado y aluminio
Vida útil	20 a 25 años

Tabla 4.1 Características generales de la central

4.2 Estructura de la central.

Análisis de la carga.

El análisis de las cargas eléctricas es el primer paso y el más importante en el dimensionado de los sistemas fotovoltaicos; el consumo de energía y la demanda de potencia dictan la cantidad de electricidad que se debe producir.

Se deben considerar todas las cargas existentes y futuras cargas potenciales, una baja estimación de las cargas da como resultado un sistema que es demasiado pequeño y que no puede operar las cargas con la confiabilidad que es requerida, pero por otra parte, una sobre estimación de la carga da como resultado un sistema grande, que resulta de mayor costo que el necesario.

Un análisis detallado de la carga se debe determinar durante el levantamiento del sitio, listando cada carga, su demanda de potencia y consumo diario de energía.

Si el perfil de la carga no es muy parecido para todo el año, conviene que se haga el análisis de la carga cada mes. Las cargas semejantes se pueden agrupar por categorías, tal es el caso de las luminarias con los mismos requerimientos de potencia.

En el caso de que se tengan cargas alimentadas en Corriente Directa (C.D.), se deben listar en forma separada de las cargas en Corriente Alterna (C.A.), esto se hace debido a que la energía para las cargas en C.A. va a través del inversor, las pérdidas resultantes se deben cuantificar por separado.

De los datos anteriores, los valores pico de la potencia en C.A. y C.D. se suman por separado. La demanda total de potencia en C.A. determina la potencia mínima nominal del inversor, ambas potencias se usan para calcular la demanda total de potencia.

El consumo de energía eléctrica está basado en la demanda de potencia durante un cierto periodo de tiempo. Las cargas raramente operan en forma continua, de modo que se debe determinar el tiempo de operación de cada carga, como se muestra en la siguiente imagen, que representa el número total de horas por día que opera una carga.



Figura 4.5 Estimación de consumo eléctrico.

Aún cuando las cargas estén conectadas todo el tiempo, como es el caso de los refrigeradores y los equipos de aire acondicionado, que tienen un requerimiento variable de potencia basado en su ciclo de trabajo. Las cargas operadas manualmente por el usuario se conectan y desconectan manualmente, la determinación del tiempo de operación de éstas es relativamente sencillo si sólo operan una vez al día; sin embargo, cuando se conectan y desconectan varias veces al día, probablemente la mejor forma de determinar el ciclo de trabajo es midiendo con un aparato. El consumo de energía diario para cada carga se determina por la demanda de potencia multiplicada por el tiempo de operación diario. Por ejemplo, una lámpara de 60W está conectada 4 h al día, consume: $60 \text{ w} \times 4 \text{ h} = 240 \text{ Wh}$.

El voltaje del sistema en corriente directa

El voltaje en corriente directa (C.D.) del sistema se establece por el voltaje del banco de baterías en los sistemas autónomos basados en bancos de baterías, o bien el voltaje del arreglo de los paneles fotovoltaicos en los sistemas interactivos con la red.

Este voltaje dicta el voltaje de operación y valores nominales para las otras componentes conectadas, incluyendo las cargas en C.D., controladores de carga, inversores y el arreglo de baterías, serie-paralelo para los sistemas basados en baterías.

El voltaje en C.D. puede variar dentro de un rango amplio para los sistemas interactivos, desde 48V hasta casi 600V, en tanto que para los sistemas basados en baterías es más crítico e importante. El voltaje en C.D. para sistemas fotovoltaicos basados en baterías es usualmente un múltiplo de 12V, puede ser 12V, 24V ó 48V. Las cargas en C.D, los controladores de carga e inversores que operan con estos voltajes es común obtenerlos de los voltajes, fabricantes.

La selección del voltaje del banco de baterías afecta las corrientes del sistema. Por ejemplo, un sistema de 1200 W operando a 12V demanda: $1200\text{ W}/12\text{V}=100\text{A}$, los mismos 1200 W operando a 24V demandan $1200\text{ W}/24\text{V}=50\text{A}$ ó 25A a 48V.

Los valores bajos de corriente reducen los tamaños requeridos de conductores, los dispositivos de protección contra sobrecorriente, desconectores, controladores de carga y otros equipos.

También, debido a que la caída de voltaje y pérdidas eléctricas son menores a bajas corrientes, los sistemas con voltajes más altos son generalmente más eficientes.

Los sistemas con voltajes más altos también requieren menos circuitos o fuentes fotovoltaicas en el diseño del arreglo. Como una regla de dedo, para los sistemas aislados (no conectados a la red) con potencias de hasta 1 KW, se usa un banco de baterías con un voltaje mínimo de 12V, que limita la C.D. a menos de 84A.

En forma similar, los voltajes en baterías de al menos 24 V se usan en sistemas que demandan potencia hasta de 2 KW, y para potencias de hasta 5 KW se debe usar al menos 48V. Los sistemas aislados muy grandes pueden usar voltajes de baterías de 120V.

Disponibilidad del sistema

El tamaño de un sistema determina su disponibilidad, este concepto es el porcentaje de tiempo en un año promedio que un sistema fotovoltaico aislado requiere para satisfacer los requerimientos de la carga. Por ejemplo, una disponibilidad del sistema del 98% quiere decir que el sistema es capaz de satisfacer la demanda de energía un 98% del tiempo, o también que el 2% del año el sistema no puede satisfacer los requerimientos de la carga.

La no disponibilidad de un sistema se puede deber a distintas situaciones o eventos no predecibles que afectan la potencia de salida, por ejemplo, los días o semanas con bajo nivel de insolación, tales como clima nublado en forma inusual, que reduce la disponibilidad en el corto tiempo.

La disponibilidad del sistema puede cambiar entre años debido a los patrones de clima cambiantes en el largo plazo. Las fallas en las componentes y el mantenimiento también

contribuyen a los tiempos fuera y reducen la disponibilidad del sistema, la cual está determinada por la insolación y autonomía.

La autonomía es la cantidad de tiempo que un sistema con batería totalmente cargada puede alimentar las cargas sin requerir ser recargada, la autonomía se mide en días. La mayoría de los sistemas aislados se diseñan para disponibilidades del 95% (de 3 a 5 días de autonomía). Para aplicaciones críticas puede ser 99%, de 6 a 10 días capacidad requerida para el banco de baterías.

Las baterías para los sistemas fotovoltaicos aislados se deben dimensionar para satisfacer las cargas del sistema para el tiempo de autonomía deseado, sin ninguna carga adicional o contribuciones del arreglo fotovoltaico.

La capacidad requerida para la batería depende de los requerimientos de la carga y de la autonomía deseada. Una gran autonomía requiere bancos de baterías grandes y costosos, pero reducen la profundidad de descarga diaria, con lo que se prolonga la vida de la batería.

El diseño eléctrico

Los principales factores que se deben tomar en consideración para el diseño de un sistema fotovoltaico son la localización geográfica del sitio, el perfil de la carga, el almacenamiento requerido de energía y las consideraciones de costos

Los pasos básicos del diseño eléctrico son:

- La evaluación de potencia para las cargas.
- La evaluación de los datos de radiación.
- La evaluación del voltaje del sistema.
- La selección de la configuración del sistema.
- La selección y tamaño del arreglo fotovoltaico y otros componentes del sistema.
- La selección y dimensionamiento de la instalación eléctrica (conductores) fusibles, interruptores y equipo de monitoreo.
- La evaluación del sistema eléctrico de salida.

Cálculo de los datos de carga

El primer paso en el diseño del sistema, es determinar la demanda diaria de la carga de la aplicación o proyecto específico.

La demanda total de la carga se calcula sobre la base de la potencia nominal (en watts) de todos los electrodomésticos que se usan a diario, esta potencia nominal se multiplica por el número de horas que cada electrodoméstico va a operar por día, adicionalmente a la electricidad usada por los electrodomésticos, el propio sistema consume algo de potencia.

Existen algunas pérdidas de energía debido a las pérdidas RI^2 en conductores y también en el proceso de conversión de C.D a C.A. Estas pérdidas de energía se deben tomar en cuenta

durante el proceso de diseño del sistema fotovoltaico, usando un factor en el cálculo final, por lo general se toma un factor de seguridad de 1.2.

Para tomar en cuenta estas pérdidas, la estimación de la demanda de energía no es fácil, ya que existen numerosos factores que afectan al consumo final de energía eléctrica, y por otro lado las instalaciones fotovoltaicas tienen una gran diversidad en cuanto a función y aplicación se refiere, por ejemplo:

- Instalaciones eléctricas de casas y edificios.
- Alumbrado público.
- Aplicaciones agropecuarias, bombeo de agua, etc.

Los consumos de energía eléctrica se pueden obtener de estadísticas de mediciones o consumos anteriores, de los recibos de energía eléctrica, etc., pero también a partir de los datos de placa de los equipos y aparatos electrodomésticos que se alimentan y del promedio de horas de operación de éstos.

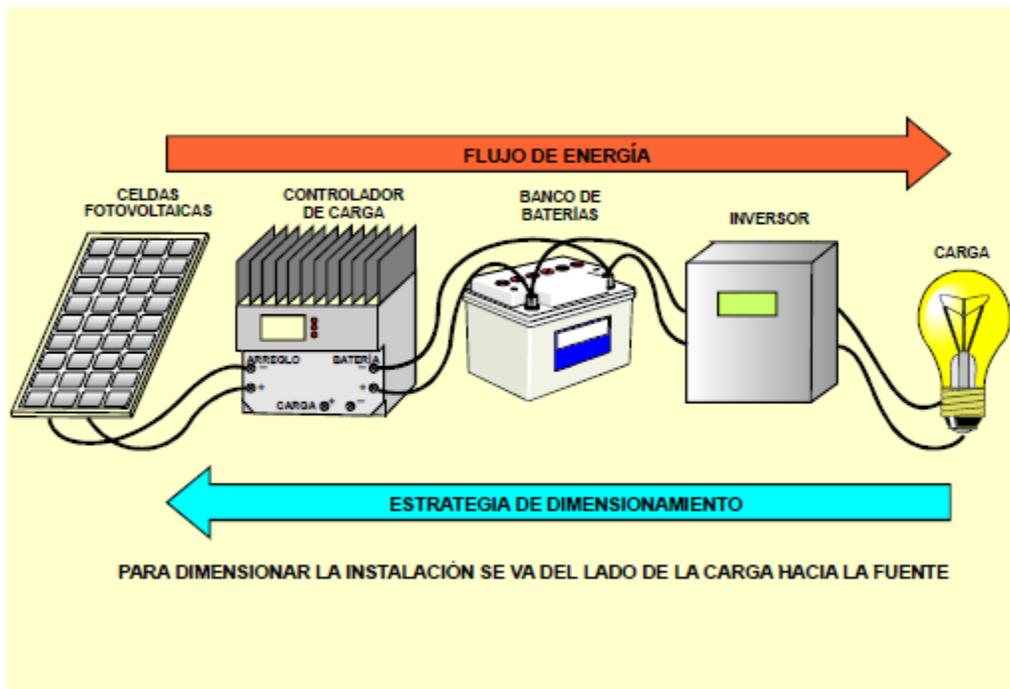


Figura 4.6 Estrategia de dimensionamiento.

Algunos valores de referencia del consumo de aparatos domésticos se mostraron en la figura 4.5, considerando en la mayoría de los casos el uso de lámparas y aparatos ahorradores de energía.

El consumo medio diario se puede estimar haciendo un inventario de los equipos o aparatos electrodomésticos de C.A. y de C.D. indicando la potencia y el tiempo de utilización por día que se estima para cada uno.

De manera que se puede obtener el consumo total de C.A. y C.D. en aquellas instalaciones que incluyan regulador y/o inversor; se debe tomar en cuenta el rendimiento de éstos, de modo que el consumo diario está dado por la expresión:

$$E_D = \left(\frac{E_{CD}}{\eta_{reg}} + \frac{E_{CA}}{(\eta_{reg})(\eta_{inv})} \right)$$

Donde:

E_D = Consumo diario total en Wh/día.

E_{CD} = Consumo diario de energía en corriente directa en Wh/día.

E_{CA} = Consumo diario de energía en corriente alterna en Wh/día.

η_{reg} = Eficiencia del regulador en por unidad.

η_{inv} = Eficiencia del inversor por unidad.

A partir del consumo diario se procede al cálculo del consumo mensual, considerando los días de utilización al mes. Para un ciclo anual, los resultados obtenidos se presentan en Wh/mes cálculo del voltaje del sistema.

Selección del módulo fotovoltaico

Hay un amplio rango disponible de módulos fotovoltaicos, la diferencia entre ellos son el número de celdas, el tamaño de cada celda y la tecnología de manufactura usada. Hay un número de factores que afectan la selección del módulo, los más importantes se enlistan a continuación:

- El número de módulos usados depende de la potencia de salida de cada módulo a una mayor potencia de salida de cada módulo, menor es el número de módulos del arreglo, esto da como resultado una reducción del arreglo fotovoltaico y de los costos fijos y de montaje.
- Los requerimientos arquitectónicos tales como un requerimiento por un módulo fotovoltaico integrado a un edificio. Estos módulos están diseñados para ser parte de la estructura del edificio.
- Las características corriente voltaje de cada tipo de módulo se debe comparar, por ejemplo el comportamiento I-V del módulo de silicio cristalino es mejor comparado con el módulo de silicio amorfo.
- La eficiencia del módulo es un criterio importante para la selección del mismo cuando se tiene una disponibilidad de espacio limitada. Los módulos de alta eficiencia se deben seleccionar para reducir el tamaño del arreglo (especialmente para los módulos montados en poste).
- El costo del módulo es un factor importante a ser considerado para la selección, los módulos de baja eficiencia son de bajo costo pero esto no se traduce necesariamente en ahorros. Los costos de montaje y sujeción de los arreglos son mayores que para los de alta eficiencia.

Dimensionamiento de arreglo fotovoltaico

El criterio de selección para el arreglo fotovoltaico depende del tipo del sistema fotovoltaico. Si el sistema fotovoltaico es aislado, entonces el dimensionamiento del arreglo se hace basado en la demanda de energía y los datos de irradiación para el “peor mes”.

La cantidad de electricidad producida por un arreglo fotovoltaico está afectada por varios factores, tales como: el patrón del clima local, el efecto de sombra sobre el arreglo o los cambios estacionales de la región.

El patrón del clima local puede variar ampliamente, aún dentro de una región geográfica pequeña y también una pequeña sombra en el arreglo fotovoltaico puede afectar la corriente de salida sensiblemente.

El ángulo de inclinación y la orientación del arreglo fotovoltaico afectan la cantidad de radiación y la energía de salida.

Determinación del voltaje del sistema

Dependiendo de los requerimientos de potencia continua máxima, se selecciona el voltaje apropiado del sistema a partir de la tabla siguiente:

Voltaje del sistema (Volts)	Máxima corriente en forma constante (Amperes)	Potencia máxima continua (Watts)
12	100	1200
24	100	2400
48	100	4800

Tabla 4.2 Determinación del voltaje del sistema.

Por ejemplo, si los requerimientos de potencia máxima continua para el sistema anterior son de 4600 W, la batería es de 48 Volts.

Dimensionado del generador fotovoltaico o panel

Si se incluye un generador como una fuente de potencia adicional se puede incrementar la confiabilidad del sistema y reducir el costo del ciclo de vida, pero se incrementa la complejidad del sistema, la necesidad de potencia de respaldo se reduce y la capacidad de la batería puede ser menor en este caso.

Los generadores se seleccionan generalmente dependiendo del diseño del sistema y de las necesidades del cliente, por ejemplo, si el generador va a ser usado sólo en forma ocasional y la mayor fracción de la demanda puede ser satisfecha por el arreglo fotovoltaico, entonces el tamaño del generador puede ser menor.

En el caso de que las necesidades del cliente requieran de un generador que tome cargas mayores, entonces la capacidad debe ser mayor. Los grupos generadores se pueden usar en distintas formas:

- Sólo para cargadores de batería (sistemas serie).
- Para cargar baterías y cargas adicionales de CA (sistemas switcheadas).
- Para cargas grandes de C.A.

La estimación del consumo de la energía

Para dimensionar correctamente un sistema fotovoltaico es necesario hacer una estimación correcta de la energía que se consumirá en la instalación, y para esto, dependiendo del tipo de instalación o carga por alimentar, se puede tener un grado de dificultad distinto.

Por ejemplo, para alimentar cargas de un valor conocido y fijo como es el caso de los sistemas de telecomunicación, la estimación es sencilla, pero cuando se trata de viviendas se puede complicar, ya que no sólo se trata de la carga conectada.

También intervienen otros factores que pueden afectar el consumo de la energía eléctrica, como son: el tamaño de las familias, los hábitos de uso de la energía eléctrica, la capacidad para manejar la energía, etc., de manera que se deben tomar ciertas consideraciones para estimar el valor de la energía media que se consumirá por día expresada en Wh/día.

El cálculo de la energía consumida debe incluir las pérdidas de áreas de energía en los distintos equipos, como es el regulador, el inductor, los conductores, etc.

El consumo de energía de las cargas debe incluir el servicio de la energía eléctrica que se ofrece al usuario para las distintas aplicaciones que se tienen en una casa, tanto en corriente directa como en corriente alterna.

4.3 Operación y funcionamiento.

Los Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos de modelo ISF-240 de 240 watts cada uno, se encuentran repartidos en 4 zonas de inversor con capacidad de 250 Kw. Sunny Central 250U bajo la siguiente configuración.

- Zona A 1050 módulos operados por 3 seguidores.
- Zona B 1050 módulos operados por 3 seguidores.
- Zona C 1036 módulos operados por 3 seguidores.
- Zona D 1036 módulos operados por 3 seguidores.

Cada seguidor es capaz de mover un máximo de 360 paneles, en 10 líneas de vigas principales de 36 piezas cada una.

El seguidor cuenta con un actuador lineal que se encarga de realizar el movimiento polar, cuenta también con una caja de control que gobierna los movimientos del seguidor haciendo uso de sensores, inclinómetros y un sistema programable.



Figura 4.7 Vista inferior de los paneles.

La central cuenta con una estación Solarimétrica, cuya función es recopilar datos atmosféricos imperantes en la zona, cuenta con un módulo de comunicación que permite monitorear en todo momento:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura ambiente y Humedad Relativa.
- Nivel de Irradiancia.
- Presión atmosférica.
- Señal de disparo para que los seguidores adopten posición de defensa, previendo daños por ráfagas de viento sostenidas a los paneles.

Para efectuar la conexión del total de paneles a los equipos inversores de 250 kW, es preciso llevar a cabo un arreglo a base de series “strings”, las cuales se concentran en cajas denominadas de nivel. En esta central se emplearon 58 cajas de nivel 1 y 20 cajas de nivel 2 para llevar el total de paneles a arreglos de únicamente 5 strings hacia los inversores.

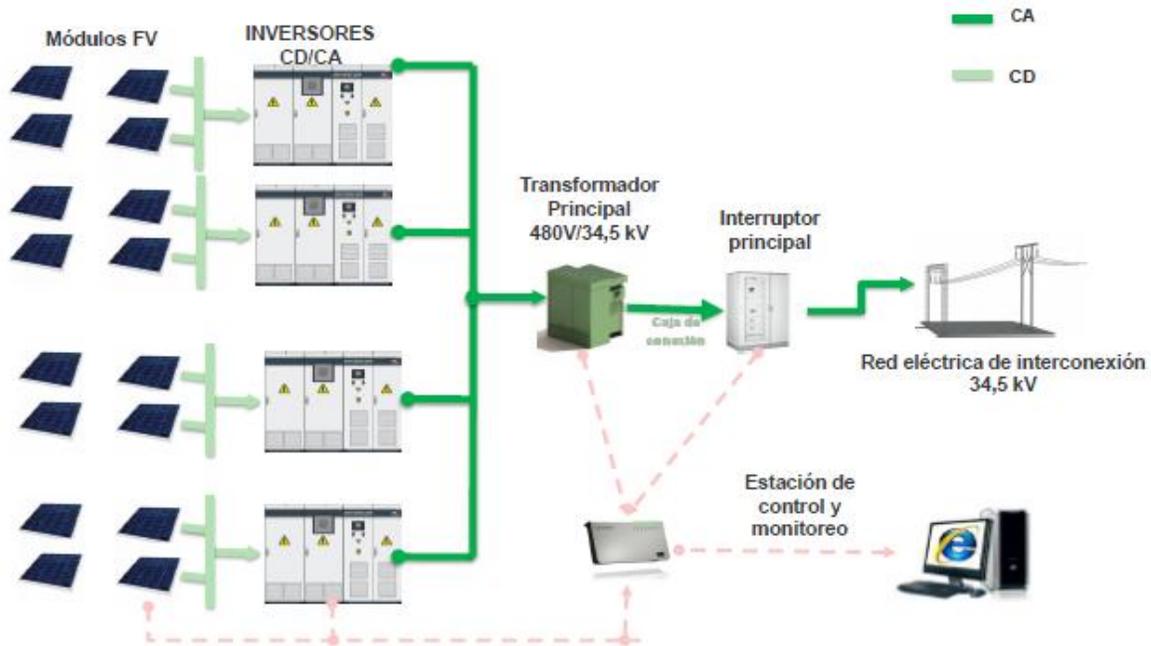


Figura 4.8 Esquema de interconexión.

Los inversores de 250 kW, operan conectados por su lado de C.D. a un generador fotovoltaico y por su lado de C.A. a un bus en 480 VCA por medio de un transformador integrado que permite además el aislamiento galvánico entre la parte de C.D. y C.A. La salida del inversor en el lado de C.A. se conecta directamente a un bus de 0.480 kV. Debidamente protegido en 4 tableros de interruptores en el cual se integran protecciones por inversor que permiten seccionar cada una de las 4 zonas de la central. Un quinto tablero de protección general al bus común permite seccionar el bus completo con los 4 inversores en caso de falla. Del bus general de 0.480kV. se tiene una interconexión al transformador elevador de la central 0.480kV _ / 34.5kV y a través de una subestación compacta.

Un restaurador con control de re-cierre marca SEL se enlaza desde el poste de interconexión a la red eléctrica de la CFE, logrando con ello una conexión segura y protegida.

Un medidor bidireccional se encarga de registrar la energía inyectada por la central durante el día solar, y de la misma manera se encarga de registrar la energía consumida por la central en los periodos de no generación.

Los equipos que no pueden salir de operación incluso en caso de falla, son respaldados con un sistema UPS de capacidad adecuada para cubrir la demanda de equipos en caso de contingencia.

Los equipos periféricos al interior de la central permiten llevar a cabo un control y monitoreo general y total de la misma, pues cada evento es registrado desde la estación de control al interior de la central, que se apoya desde un sistema SCADA (Control de Supervisión y

Adquisición de Datos). Todos los sistemas en la central fotovoltaica, son regidos y monitoreados por el SCADA desde local y remoto mediante de un interconectado de F.O. a las instalaciones de CENACE.

La operación total de la planta se efectúa mediante un servidor y pantallas intuitivas, en las cuales el operador puede navegar en un ambiente de ventanas, monitorear la operación de los equipos, y mediante reportes históricos evaluar los eventos que se pudieran presentar.

La central cuenta con un sistema de CCTV por medio del cual el operador tiene control visual de toda la instalación, dicho sistema también está ligado a CENACE y permite monitorear desde remoto.

Cada cámara puede ser manipulada por el operador incluso desde CENACE, y cuentan con sistema de visión nocturna que permite mantener un campo visual claro incluso en la oscuridad de la zona.

Los principales beneficios esperados con el desarrollo del proyecto son: que será la primera Central Fotovoltaica interconectada a un sistema eléctrico con la participación de otras fuentes de energía como la geotermia y los combustibles fósiles; CFE obtendrá experiencia en la operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos a gran escala, lo que permitirá planificar la futura integración de esta tecnología en el sin a escala comercial; además que la central contribuirá al desarrollo de la región y sentará las bases para que en un futuro esa región se convierta en un modelo de desarrollo energético sustentable, donde la participación de los combustibles fósiles es mínima o nula.

4.4 Proyectos alternos en México.

Aparte de esta central fotovoltaica ya en funcionamiento, la comisión federal de electricidad tiene en puerta otros dos mega proyectos de construcción de centrales fotovoltaicas en el país, aún no se dan a conocer datos relevantes como fechas de inauguración ni los avances que se han hecho con respecto a su construcción, pero seguramente serán centrales sumamente importantes y de grandes beneficios a la población, estas centrales son:

1. Proyecto Solar Fotovoltaico Cerro Prieto, Baja California, 5 MW
2. Proyecto Solar Fotovoltaico Agua Prieta II, Sonora, 14 MW

Otros proyectos en México que ya se han desarrollado y, tal vez no sean de la misma magnitud que la central solar de Santa Rosalía, pero si muy importantes, los cuales muestran la eficiencia que tienen, estos son:

1. Sistema fotovoltaico de 12 kW instalado en la cubierta del edificio de la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de CFE en noviembre de 2009.
2. Sistema solar fotovoltaico de 30 kW, instalado en el Museo Tecnológico de la CFE el 13 de mayo de 2010.

En mayo de 2010 se instaló un sistema fotovoltaico de 30kW para interconexión a la red pública, en el interior del Museo de Tecnología de la CFE (MUTEC), en la segunda sección del Bosque de Chapultepec. Este sistema fue adquirido por CFE para mostrar la efectividad de la interacción del sistema solar con la red eléctrica. Así los visitantes pueden apreciar como se aprovecha la energía proveniente del sol y es convertida en electricidad para ser usada habitualmente.



Figura 4.9 Paneles solares en el Mutec de CFE.

La fecha de inicio fue en marzo de 2010 y se finalizó el 13 de mayo de 2010, el área en la que fue desarrollado este proyecto tiene un arreglo de 220 m². Los módulos solares son de la marca "Solar World" de 230W.

La potencia del arreglo solar es de 30kW conformado por 3 sub-arreglos solares de 10 kW, cada arreglo se forma con 4 bloques de 11 módulos en serie, 4 Inversores marca Fronius IG Plus 7.01 Uni, de 7.4 kW de potencia nominal de 240 VCA de salida.



Figura 4.10 Vista aérea de los paneles.

Los proyectos de generación renovable y cogeneración eficiente producen beneficios tales como:

- Aprovechamiento de las fuentes de energía renovable del país.
- Cuidado del medio ambiente y la salud de los habitantes.
- Desarrollo de la capacidad industrial de México y la creación de empleos.
- Cumplimiento de los compromisos internacionales del país en materia ambiental y de cambio climático.
- Diversificación del parque de generación eléctrica.
- Disminución de la variabilidad de los costos de generación de electricidad.
- Participación social y privada en la inversión económica requerida por el sector eléctrico para satisfacer la demanda nacional.
- Disminución de la dependencia nacional de los hidrocarburos.
- El desarrollo rural en regiones cercanas a fuentes de energías renovables.

4.5 Proyectos alternos en el mundo.

Las grandes centrales fotovoltaicas en el mundo han sido creadas para abastecer y satisfacer a miles de millones de usuarios consumidores de energía eléctrica, la preocupación de saber que los recursos no renovables pronto se agotarán, ha obligado a la humanidad a recurrir a los recursos inagotables, y parece ser que apuestan todo a la energía renovable, pero en el mundo se han creado mega proyectos fotovoltaicos que poco a poco sustituirán a algunos métodos tradicionales que contaminan y destruyen la capa de ozono.

Ciertamente cada vez que aparece una nueva planta fotovoltaica, reclama ser la más grande del mundo, pero a continuación se enlistan sólo algunas de las más grandes que existen:

1. Proyecto solar Agua Caliente en EUA, 247 MW.
2. Parque solar Charanka en India, 214 MW.
3. Parque solar Golmud en China, 200 MW.
4. Parque solar Perovo en Ucrania, 100 MW.
5. Parque solar Xitieshan en China, 100 MW.
6. Planta de energía fotovoltaica Sarnia en Canadá, 97 MW.
7. Parque solar Brandenburg-Briest en Alemania, 91 MW.
8. Parque solar Finow Tower en Alemania, 84.7 MW.
9. Central eléctrica fotovoltaica Montalto di Castro en Italia, 84.2 MW.
10. Parque solar Eggebek en Alemania, 83.6 MW.

Las siguientes centrales enlistadas están en construcción, pero aunque no lo parezca, estarán en funcionamiento muy pronto, tal vez en menos de lo que imaginamos:

1. Proyecto Helios en Grecia, 10,000 MW (para el 2015).
2. Parque solar Wetslands en EUA, 2700 MW (del 2013 al 2015).
3. Proyecto solar Ordos en China, 2000 MW (para el 2019).
4. Proyecto de ley en USA, 1200 MW (para el 2015).
5. Parque solar Neper en Serbia, 1000 MW (para el 2016).

Conclusión.

La solución a la crisis energética que padecemos, está en las energías renovables, y principalmente en la tecnología solar. Debemos aprender a obtener y aprovechar al máximo la energía que emite del sol, que es nuestra principal fuente de energía natural y gratuita; así dejaremos de depender del petróleo y el gas natural principalmente, estos recursos no renovables debemos emplearlos lo menos posible y dejar de adecuarlos a nuestra vida diaria como principal sustento, ya que la energía solar puede sustituir muchas de nuestras necesidades.

La generación distribuida tiene como finalidad, el poder trabajar en paralelo o independientemente de la red eléctrica, en la mejoría del gasto en el pago de las facturas; y que mejor haciéndolo con la energía solar, que es esta la solución que nos ahorrara por varios años el dinero que bien podríamos utilizarlo en otras necesidades primordiales.

Durante la elaboración de esta tesis, tuve la oportunidad de conocer nuevos temas que en algún momento sólo había los oído de ellos sin poner atención, temas de suma importancia que es necesario tomarlos en cuenta y comprender los beneficios que tienen; con esto me refiero a las energías renovables que son 3 las principales: la energía solar fotovoltaica, la energía solar térmica y la energía eólica; con la práctica y uso de estas tecnologías dejaremos de agotar los recursos fósiles en gran manera y dejar en segundo plano algunos métodos tradicionales de generación de la energía eléctrica, con los cuales vemos el gran deterioro en nuestro medio ambiente, ya que tiene como consecuencia graves e irreparables daños. Los conocimientos adquiridos en la facultad son sólo una herramienta para desarrollar habilidades que pueden ayudar en el desarrollo y mejoría de los paneles solares.

Durante el tiempo que estuve estudiando la carrera de ingeniería, pude ver que las materias en relación a las matemáticas y la física son útiles para poder desarrollar los cálculos y las bases de los proyectos nuevos que se podrían crear, y con las materias relacionadas a la electricidad y electrónica se crean aplicaciones que mejoren a la tecnología actual; la investigación y práctica serán el motivo de hacer más eficiente la aplicación de los sistemas fotovoltaicos.

Actualmente ya es posible adquirir esta tecnología en nuestro país, ya sea para casa, edificios públicos, centrales eléctricas, etc., incluso para nuestra facultad y/o universidad; adaptarla podría ser un gran reto, la cual su finalidad es pagar menos el consumo de energía eléctrica, e incentivar a los estudiantes, profesores y académicos a usar esta tecnología que es útil y favorecerá nuestra vida por muchos años.

Referencias bibliográficas.

Libros.

- Borbely, Ann-Marie; Kreider, Jan F.
Distributed Generation.
USA: CRC Press, 2001.
- Castañer Muñoz, Luis.
Energía solar fotovoltaica.
Barcelona: UPC, 1994.
- De Galiana Mingot, Tomas.
Gran diccionario de las ciencias.
Barcelona: Larousse, 1987; tomo VI.
- De Juana, José M^a; Santos, Florentino; Crespo, Antonio; Herrero, Ángel; Fernández, Adolfo de Francisco y Jesús.
Energías Renovables para el futuro.
Madrid España: Thomson Paraninfo, 2003.
- Enríquez Harper, Gilberto.
Tecnologías de generación de energía eléctrica.
México: Limusa, 2009.
- Foster, Robert; Ghassemi, Majid; Cota, Alma.
Solar Energy (Renewable Energy and the Environment).
USA: CRC Press, 2010.
- Gregory W, Massey.
Essentials of Distributed Generation Systems.
Sudbury Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers, 2010.
- Hans Rau.
Energía solar.
Barcelona: Maracombo, 1984.
- Ibañez Plana, M.; Rosell Polo, J. R.; Rosell Urrutia, J. I.
Tecnología Solar.
Madrid, España: Mundi-Prensa, 2005.

- Madrid, Antonio.
Energías renovables (fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones).
Madrid, España: Mundi-Prensa, 2009.
- Orille Fernández, Ángel Luis.
Centrales eléctricas I, II y III.
Barcelona: UPC, 2ª edición febrero de 1996.
- Perales Benito, Tomás.
Energías Renovables.
México; Limusa, 2006.
- Spellman, Frank; Bieber, Revonna.
The Science of Renewable Energy.
USA: CRC Press, 2011.

Páginas web.

- http://es.wikipedia.org/wiki/Central_Nuclear_Laguna_Verde
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica
- http://gdistribuida.blogspot.mx/2012/01/que-es-la-generacion-distribuida_25.html
- http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_photovoltaic_power_stations
- <http://webanet.com.mx/central-fotovoltaica-de-santa-rosalia-b-c-s/>
- http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/Generacion.aspx
- http://www.grupocondumex.com.mx/Portal_Cdx/Boletines/sep11-actualidad-centralsolar.htm
- <http://www.inygen.com/serv-incon2.asp>
- <http://www.microm.com.mx/ES/EnergiasRenovables/Paginas/Energ%C3%ADAsolar.aspx>
- <http://www.sabelotodo.org/elementosquimicos/silicio.html>

Anexo 1

Galería fotográfica de la central solar fotovoltaica en Santa Rosalía,
Baja California Sur.







Anexo 2

Reportaje de la energía solar.

Gaceta UNAM
Ciudad Universitaria
25 de febrero de 2013
Número 4,493
ISSN 0188-5138

La energía solar, alternativa viable.

Para mitigar los efectos de la quema de combustibles fósiles no es necesario cambiar el esquema energético mundial, sino promover un consumo responsable e instrumentar tecnologías basadas en alternativas renovables, planteó Aarón Sánchez Juárez, del Instituto de Energías Renovables (IER).

Dentro de éstas, la solar es la de mayor potencial en el mundo: 60 terawatts (TW); en cambio, la hidráulica tiene 0.7 TW; la biomasa, cinco TW; la geotermia, 0.6 TW, y la eólica, de dos a cuatro TW.

Cada 10 días, agregó, la energía del llamado astro rey recibida por la Tierra equivale a todas las reservas conocidas de petróleo, carbón y gas. Además, 70 por ciento de la población del planeta vive en la denominada franja solar.

Gran potencial

En México, donde 72.7 por ciento de la electricidad es producida con combustibles fósiles, también el potencial es grande. Con 0.29 por ciento de la superficie de Chihuahua se podría satisfacer la demanda nacional, explicó el especialista.

Debido a que gran parte del consumo eléctrico en el país se destina, en primer término, a aplicaciones industriales, luego a domésticas y después a comerciales y agrícolas, podrían instrumentarse programas para financiar el uso de tecnología solar fotovoltaica (transformación directa mediante absorción óptica en dispositivos optoelectrónicos llamados celdas solares) para casas habitación.

Su ventaja radica en que no requiere mantenimiento, porque al carecer de partes móviles no tiene desgaste por operación mecánica. “También es amigable con el ambiente, no genera desechos ni produce ruido. Los fabricantes garantizan hasta por dos décadas que su potencia no decaerá más allá de 20 por ciento de la inicial”.

No obstante, tiene desventajas respecto a los combustibles fósiles. La principal es que requiere grandes áreas de captación para generar potencias considerables. Para obtener cinco kilowatts (un poco más del consumo de una casa) se requieren 50 metros de área de captación, mientras que un moto-generador ocuparía medio metro por lado y 40 centímetros de alto.

La generación eólica es más barata; sin embargo, el recurso solar es mayor en México. Sólo en ciertas áreas del país pueden echarse a andar instalaciones del primer tipo, como en La Ventosa, en todo el Istmo de Tehuantepec, donde las máquinas operan 20 horas al día.

“El viento se centra en un lugar y, en cambio, el Sol abarca toda la República y podrían desarrollarse opciones de baja escala para casa habitación y grandes proyectos, como el de un megawatt, de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en Santa Rosalía, Baja California, o el de cinco que funciona en Sonora.

Lo fotovoltaico ha resuelto grandes problemas en el medio rural. Desde los años 80, en instalaciones, hay 30 megawatts de proyectos aislados, alejados de la red eléctrica que satisfacen necesidades específicas, como casas, producción agropecuaria, telesecundarias o sistemas de repetición telefónica, por ejemplo.

Además, se aplica en cualquier sitio debido al desarrollo de la electrónica de control. De los años 90 a la fecha se han instrumentado grandes proyectos en el mundo, para sistemas aislados y para interconectados con la red eléctrica convencional que, sumados, integran una potencia instalada de 150 gigawatts.

En México, pese a que no hay grandes programas gubernamentales para desarrollar la tecnología solar fotovoltaica y promover su uso, se han instalado algunos del orden de 20 megawatts en los últimos años, esfuerzo bajo comparado a lo que se hace en otras partes del mundo.

Al no tener impacto ambiental ni emitir gases de efecto invernadero, en países como Estados Unidos, España y Alemania hay programas gubernamentales para su promoción y uso. “En nuestra nación no ha habido apoyo para sostener un programa efectivo, porque somos un país productor de petróleo, y lo único que se tiene es el instrumento legal que permite la interconexión con CFE mediante el criterio de medición neta, que estipula que si en un periodo anual genero menos de lo que consumí, tengo que pagar la diferencia, si es más, me dan las gracias.”

Ventaja

La ventaja para el territorio es que tiene diferentes recursos en energía renovable y para cada uno hay una tecnología actual que ya se instrumenta. En el Instituto de Energías Renovables, por ejemplo, se desarrollan celdas solares en película delgada de materiales semiconductores para aplicaciones fotovoltaicas; la mayoría están basadas en calcogenuros de metal, como el sulfuro de estaño, sulfuro de cobre y sulfuro de cadmio.

Se han creado también películas de telurio de cadmio, con eficiencias de conversión de 10 por ciento. El plan es tener una planta de elaboración de pequeños módulos, de 10 por 10 centímetros, para tener idea sobre las alternativas para incrementar el área de desarrollo de esta tecnología.

La Unidad de Asistencia Fotovoltaica del Instituto, añadió, diseñó el proyecto ejecutivo para una planta en la materia de un megawatt para el gobierno de Guerrero, en proceso de instalación en Acapulco, que se espera esté en operación a mediados de este año.