



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA

UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

**"CÁLCULO DE UN SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO
PARA ALIMENTAR CARGAS AISLADAS
EN CORRIENTE ALTERNA"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

JAIME ESPINOSA SANTOS

MARCO ANTONIO CABRERA VÁSQUEZ

ANGEL YAFTÉ LÓPEZ DURÁN

ASESORES:

ING. FRANCISCO JAVIER PALACIOS DE LA O

M. EN C. GILBERTO ENRIQUEZ HARPER

MÉXICO, D.F. 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA (N) DESARROLLAR

INGENIERO ELECTRICISTA
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
JAIME ESPINOSA SANTOS
MARCO ANTONIO CABRERA VÁSQUEZ
ANGEL YAFTÉ LÓPEZ DURÁN

“CÁLCULO DE UN SISTEMA EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR CARGAS AISLADAS EN CORRIENTE ALTERNA”

DISEÑAR UN SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICO-SOLAR PARA ALIMENTAR A UN CONJUNTO DE CARGAS DEL TIPO ISLA DE UNA POTENCIA DETERMINADA A TRAVÉS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN LOCAL USANDO LOS VALORES DE TENSIÓN NORMALIZADOS POR LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

- INTRODUCCIÓN.
- ENERGÍAS RENOVABLES.
- GENERACIÓN EÓLICA.
- GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.
- DETERMINACIÓN DE LAS CARÁCTERÍSTICAS DE LA CARGA, LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y LA OPERACIÓN.
- CONCLUSIONES.

MEXICO D.F., A 21 DE MAYO DEL 2014.

ASESORES


ING. FRANCISCO JAVIER PALACIOS DE LA O


M. EN C. GILBERTO ENRIQUEZ HARPER


ING. CÉSAR DAVID RAMÍREZ ORTIZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

JEFATURA DE
INGENIERIA ELECTRICA



México, D.F. 03 de Diciembre de 2013

DEDICATORIA

Con todo nuestro cariño y amor, para las personas que hicieron todo en la vida para darnos la mejor herencia, el mejor regalo y una de las mayores satisfacciones que se puede obtener en esta vida, una carrera, por motivarnos y darnos la mano cuando el camino se llenaba de niebla, a ustedes por siempre nuestro amor y agradecimiento eterno.

Nuestros padres y madres.



AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores que durante nuestro andar por esta escuela la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco y amada institución el Instituto Politécnico Nacional, que en nuestro camino por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarnos como personas de bien y preparadas para los retos que pone la vida.

A nuestras familias que sin importar el momento o situación siempre tuvieron la disponibilidad de apoyarnos e impulsarnos a seguir adelante sin importar lo difícil que pudiera parecer cumplir los objetivos que nos habíamos planteados y conquistar las metas de la vida que desde el principio de nuestra carrera nos fijamos.

A esos compañeros que en todo momento mostraron su solidaridad y apoyo en momentos buenos y malos, a los amigos entrañables y para toda la vida que encontramos aquí pasando grandes momentos y entregándonos su apoyo, confianza y amistad sincera en cada momento vivido.

Angel, Jaime y Marco Antonio.



INDICE

	Pagina
Planteamiento del Problema	7
Hipótesis	8
Objetivo General	9
Objetivos Particulares	10
Resumen	11
Justificación	12
Alcances	13
Introducción	14
Antecedentes	16
CAPITULO I. Energías Renovables.	17
1.1. Introducción	18
1.2. Comparación entre las fuentes de energía convencionales y fuentes de energía renovables	18
1.3. Descripción de las energías renovables	19
1.4. Energía hidráulica	20
1.5. Energía geotérmica	25
1.6. Energía eólica	31
1.7. Energía Solar	33
1.8. Presencia de las energías renovables en México y en el mundo	37
CAPITULO II. Generación eólica.	39
2.1 Introducción	40
2.1.1 El viento	40
2.1.2 Aerogeneradores	47
2.2 Funcionamiento	48
2.3 Sus partes	49
2.3.1 Cimentación	49
2.3.2 Torre	49
2.3.3 Rotor y las palas	49
2.3.4 Góndola	50
2.3.5 Caja de cambios	50
2.3.6 Generador	51
2.3.7 Sistema de frenado	51
2.3.8 Sistema de control	51



2.3.9	Veleta y el anemómetro	51
2.4	Tipos de aerogeneradores	51
CAPITULO III. Generación fotovoltaica		56
3.1	Introducción	57
3.2	Generalidades de la energía solar	57
3.2.1	La radiación solar	57
3.2.2	Algunos factores que causan variaciones de la radiación solar	58
3.2.3	Irradiación solar en México	59
3.3	Descripción general de un sistema fotovoltaico	60
3.4	Tecnología Fotovoltaica	61
3.4.1	Células fotovoltaicas	62
3.4.2	Paneles fotovoltaicos	63
3.5	Inversor	64
3.6	Controlador	65
3.7	Baterías	65
3.8	Instalación	66
3.9	Funcionamiento y mantenimiento.	67
CAPITULO IV. Determinación de las características de la carga, la red de distribución y la operación		68
4.1	Cálculo de la cargas por casa	69
4.2	Cálculos del aerogenerador	71
4.3	Calculo del sistema fotovoltaico	72
4.3.1	Datos del lugar y parámetros a utilizar	72
4.3.2	Baterías	72
4.3.3	Determinación del arreglo fotovoltaico	74
4.3.4	Calculo del controlador	75
4.3.5	Inversor	75
4.4	Diagrama de conexión	76
4.5	Aspectos económicos	77
4.6	Retorno de Inversión	78
4.7	Contribuciones Ambientales	79
CAPITULO V. Generación híbrida utilizando planta diesel		81
5	Introducción	82
5.1	Planta de emergencia diesel	82
5.2	Funcionamiento de la planta de emergencia diesel	84



5.3 Selección de una planta de emergencia diesel

85

Conclusiones

86

Recomendaciones

89

Glosario de Términos

90

Índice de figuras

93

Índice de tablas

95

Bibliografía

96



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las cargas aisladas son aquellas en las que no se cuenta con una conexión al sistema eléctrico, en México el 2% de la población, que representa **2.24 millones de habitantes**, no tiene acceso a la electricidad, es por eso que un sistema de estas características es una solución viable en comparación a los costos de expansión de líneas de transmisión y distribución.

Ejemplos de ello son zonas rurales de algunos estados como Puebla, Oaxaca, Chiapas y otros, donde se encuentran pequeñas comunidades aisladas y que en ocasiones no cuentan con servicios públicos completos o simplemente se carece de ellos en su totalidad. Los altos costos de inversión inicial sumados con los de instalación hacen de estos sistemas un problema financiero, que en países sudamericanos como Chile mitigan con programas estatales para el desarrollo rural, tales tipos de programas en México existen, pero no tienen la difusión correcta por razones que se desconocen.

Además en México y el mundo en general se ha buscado disminuir el uso de combustibles fósiles que tienen impactos directos en la producción de electricidad, la variación constante de precios, la disponibilidad de los combustibles, y el impacto ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero.

De acuerdo a la **ley General de cambio climático**, que en términos generales tiene entre sus propósitos el garantizar el derecho a un medio ambiente sano, publicado el 6 de junio del 2012, México se compromete a reducir **30%** sus emisiones para el año 2020; así como **50%** hacia 2050, en relación con las emisiones del 2000. La implementación de estos sistemas de generación ayudara de gran manera al objetivo de esta ley.



HIPÓTESIS

Mediante el cálculo de sistemas eólicos-fotovoltaicos se podrá establecer un punto de partida para la alimentación de cargas eléctricas de tipo aislado en México. Lo que se pretende es realizar conciencia de que estos sistemas de generación de energía eléctrica de tipo renovables son buenos para abatir el problema de la existencia de cargas aisladas, ya sea incorporándolas al sistema eléctrico y/o en nuestro caso que representan una buena opción para los usuarios que no cuentan con el suministro de energía eléctrica y que están muy alejados de la red del sistema eléctrico.



OBJETIVO GENERAL

Establecer los criterios para que con energías renovables de tipo eólico y de tipo fotovoltaico se alimenten las cargas en zonas aisladas de las redes eléctricas, incorporando eventualmente generación diesel complementaria en caso de presentarse fallas en la red de distribución, mantenimientos de los generadores, o algún tipo de fenómeno meteorológico o condición climática que impida la generación óptima de energía eléctrica.



OBJETIVO PARTICULAR

Diseñar un sistema de generación eólico-solar para alimentar a un conjunto de cargas del tipo isla, de una potencia determinada a través de una red de distribución local usando los valores de tensión normalizados por la Comisión Federal de Electricidad.



RESUMEN

Se analizarán y definirán términos de las energías renovables y convencionales, de recursos renovables y no renovables, en el primer capítulo, para determinar el impacto que representa para el medio ambiente, así como sus limitantes, ventajas y desventajas de cada una de las formas mencionadas a fin de mostrar el panorama que tienen las energías renovables, tales como eólica y fotovoltaica, para este caso.

En el segundo capítulo se profundizará en el estudio de la generación eólica, características de funcionamiento, ventajas, desventajas y sus componentes, describiendo cada uno de ellos.

En la actualidad es de suma importancia diseñar, calcular e instalar sistemas de distribución eléctrica para cargas aisladas, ya que como se sabe cerca de **2.5 millones de habitantes** en el país no cuentan con el servicio de energía eléctrica, así como que estas sean costeables y mejor aún, que sean poco contaminantes (energías renovables), por lo tanto se revisarán dichas zonas en las cuales sería adaptable el sistema diseñado.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser aislados (en isla) o conectados a la red (interconexión), en el capítulo referente a estos sistemas se hace mención a ambos, enfocando el estudio a los primeros, calculando las capacidades de sus componentes para el capítulo cuarto. En dicho capítulo, se considerará, para el diseño, la carga a la cual se va a alimentar, de acuerdo al resultado obtenido se dimensionará cada una de las fuentes que integran el sistema planteado, paneles solares, aerogenerador, baterías, inversor, controlador, así como las características de la red.

Además se incluye un estudio económico breve en donde se dimensiona monetariamente el sistema planeado, cotizando cada uno de sus componentes y mostrando datos como contribuciones al medio ambiente.

Finalmente en el capítulo número cinco se evaluaron las características con las que debe contar un generador de emergencia y también las características de la carga que se requiere alimentar, para llevar a cabo de esta manera la selección adecuada de dicho generador y con ello poder respaldar el suministro de energía y satisfacer así, la demanda de energía que requiere la carga.



JUSTIFICACIÓN

Se desarrolla el presente trabajo de investigación debido a que se pone en práctica lo que se ha aprendido a lo largo de la formación académica recibida, puesto que de acuerdo a los estudios realizados por diferentes instituciones, los sistemas eólicos fotovoltaicos representan una opción beneficiosa de obtener energía eléctrica para alimentar las cargas aisladas del sistema eléctrico, además de que nos acerca a la realidad de la problemática que se tiene en el campo laboral y nos ofrece una ventana de oportunidades de desarrollo profesional.

Es importante, para el desarrollo social y económico del país, que no existan lugares donde no se cuenta con servicio de energía eléctrica, se busca alimentar dichas cargas aisladas y que estas comunidades o lugares cuenten con el servicio de energía, aumentando así la calidad de vida de sus habitantes.



ALCANCES

Establecer criterios para la selección de equipos necesarios para un sistema eólico fotovoltaico, tiene como beneficio impulsar el uso de las energías renovables remarcando su importancia para disminuir el consumo de combustibles fósiles y con ello la contaminación del medio ambiente.

Cubrir en su totalidad el suministro eléctrico sin dejar marginadas aquellas zonas de difícil y costoso acceso por medio de la red eléctrica.

Obtener ventajas económicas tanto del gobierno (reducción de energía subsidiada), como del usuario final (inversión a largo plazo).



INTRODUCCIÓN

En esta entrega se persigue mostrar las energías renovables fotovoltaicas y eólicas que van ganando terreno en el mundo como nuevas formas de generar energía eléctrica tratando de cuidar la ecología del medio ambiente, pero no sólo es por cuestiones ecológicas sino que también debido a la crisis energética, que comenzó en 1973, causó que los suministros de petróleo comenzaran a disminuir y los precios se elevaran exorbitantemente.

Esta crisis obligó a los países en desarrollo a reducir o posponer un importante desarrollo de programas, para que pudieran comprar petróleo para mantener sus economías en funcionamiento. Se creó la urgente necesidad de encontrar y desarrollar fuentes alternativas de energía, como los combustibles fósiles más comunes (carbón, petróleo y natural gas), energía nuclear y fuentes renovables de energía (solar, eólica, biomasa, mareomotriz, etc.).

Existen preocupaciones acerca de la energía nuclear debido a los riesgos de accidentes asociados; eliminación de residuos tóxicos, el terrorismo nuclear y la proliferación de armas nucleares que son peligrosas en sí mismas. La adquisición de energía nuclear del mundo industrializado podría, además, dar lugar a mayor dependencia tecnológica y económica en los países desarrollados. Las reservas del mundo de los recursos de combustibles fósiles podrían agotarse en unos 100 años, con lo que la situación alarmante empeoraría. Una alternativa más factible que el petróleo, el carbón y los reactores nucleares en los países en desarrollo es el uso directo e indirecto de la energía solar, energía renovable, abundante, descentralizada y no contaminante.

Cada día, el sol envía a la tierra muchos miles de veces más energía que la que se obtiene de otras fuentes (el equivalente a 200 veces la energía consumida por los Estados Unidos en 1 año). Esta energía puede ser capturada directamente en forma de radiación o aún más importante indirectamente en caídas de agua, el viento y plantas verdes. Teniendo en cuenta que la tecnología necesaria para la explotación de los recursos energéticos renovables es simple y relativamente económica, es importante desde un punto de vista estratégico la planificación en los países del Tercer Mundo, particularmente en los trópicos húmedos, se orientará al desarrollo de la energía solar alternativa. Se les ofrece una de las pocas oportunidades para desarrollar de forma independiente de los países industrializados. Esta sección describe brevemente las diversas fuentes de energía renovables, es decir, solar, eólica, hidráulica, biomasa, pequeñas geotérmicas, etcétera.

Este trabajo de investigación fue motivado e impulsado principalmente por la necesidad de alimentar cargas aisladas del sistema eléctrico que no cuentan con suministro de



energía eléctrica. Mantenemos la idea de promover la utilización de este tipo de fuentes de generación de energía eléctrica basándonos en los cálculos e investigación para realizar una instalación de un sistema eólico fotovoltaico que pueda alimentar a cargas aisladas del sistema en corriente alterna.

Y que con los resultados que obtengamos, se comience a popularizar este tipo de generación no sólo en el caso de cargas aisladas sino también para la alimentación de cargas que se encuentran en centros urbanos, tal vez en un principio de extensión no muy grande y que se pueda ir buscando las maneras eficientes para lograr la generación de energía capaz de alimentar cargas más grandes y por ende alimentar mayores áreas de población paulatinamente y así, aportar a la preservación de los recursos naturales, disminuirá niveles de contaminación, y evitara la dependencia de los combustibles fósiles que se están agotando.



ANTECEDENTES

Los sistemas eólicos funcionan en base a la potencia del viento que hace mover las aspas acopladas a los generadores. Este tipo de plantas de generación, mejor dicho los campos eólicos de generación de energía eléctrica no pueden ser colocados desgraciadamente en cualquier lugar o zona del país, principalmente se pueden colocar en la zona del Istmo de Tehuantepec, en las costas del Golfo de México, dónde los vientos son fuertes y constantes de cierta forma. Lo que hace factible la colocación de estos campos.

La manera en que funcionan estos campos es de la siguiente forma, los generadores son montados en la parte interna o en la parte baja de una torre que es una especie de molino en la cual están montadas unas aspas que son movidas por el viento, este movimiento mediante una flecha acoplada al generador se realiza la generación de energía eléctrica, ésta se envía hacia un transformador para enviarse a una subestación eléctrica.

La generación fotovoltaica también al igual que la generación eólica depende de la zona donde sea colocada ya que depende de la energía solar y obviamente debe de ser en un lugar donde la radiación del sol sea fuerte. Aunque actualmente hay muchos edificios en las urbes que cuentan con estos sistemas para su propio consumo de energía; para poder llevar a cabo la generación de energía eléctrica a gran escala se debe colocar en las zonas que ya mencionamos y principalmente las encontramos en la zona norte del país.

Esta manera de generación se lleva a cabo en campos fotovoltaicos donde encontramos varios paneles solares, compuestos de celdas solares que captan la radiación solar, que mediante el material utilizado en estas se convierte la energía luminosa en energía solar, la que se transmite en pequeña escala hacia baterías para su almacenamiento.



CAPÍTULO I

ENERGÍAS RENOVABLES

1.1 INTRODUCCIÓN

1.2 COMPARACIÓN ENTRE LAS FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES Y FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Se presenta una comparación entre las formas de energía renovable y convencional para dimensionar los aspectos que nos afectan o benefician la utilización de dichas energías renovables.

Tabla 1. Comparativa entre fuentes de energía.

ENERGÍAS RENOVABLES vs ENERGÍAS CONVENCIONALES	
RENOVABLES	CONVENCIONALES
Limpias	Contaminan
Inagotables	Limitadas
Autóctonos	Provocan dependencia exterior
Sin residuos	Generan residuos
Equilibran desajustes interterritoriales	Utilizan tecnología o recursos importados

Las fuentes de energía convencionales pueden ser sustituidas o buscarse una sustitución directa mediante las energías renovables, y esto se puede ejemplificar de la siguiente forma.

Tabla 2. Sustitución de las energías convencionales.

FUENTES CONVENCIONALES Y RENOVABLES PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
ALTERNATIVAS RENOVABLES	CONVENCIONALES
Energía del viento	Carbón
Energía solar	Petróleo
Geotérmica	Gas natural
Hidro	
Energía de las olas del mar Energía de las mareas	
-Combustible derivado de la: Basura Biogas Gases sintéticos Leña	Física nuclear



1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Los términos renovables y alternativas son utilizados indistintamente, pero no significan lo mismo. La energía alternativa la podemos definir como cualquier fuente de energía que representa una alternativa a los combustibles fósiles.

La energía renovable se puede definir como una fuente que es regenerada o restablecida de manera natural. La mayoría de las fuentes de energía alternativa se pueden definir también como renovables, por ejemplo, el sol, el viento y el agua.

Podemos mencionar como energías alternativas las siguientes:

- Biomasa y biocombustible.
- Nuclear.
- Solar.
- Eólica.
- Hidroeléctrica, geotérmica y otras.

De estas fuentes alternativas las consideradas como fuentes renovables son:

- La solar.
- La eólica.
- La hidráulica.
- La geotérmica.

En este capítulo se describirán algunas de las fuentes de generación renovables, sus procesos y la descripción de sus elementos básicos que constituyen estas centrales de generación.

1.4 ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica es la producida por el agua retenida en vasos o presas de manera natural o forzada mediante medios de barrera como una cortina de concreto a gran altura (que posee energía potencial gravitatoria). Si esta agua se conduce de manera descendente hacia un nivel inferior, esta energía gravitatoria se convierte en energía cinética, y después en energía eléctrica en la central hidroeléctrica.



Fig. 1.1 Represa de una central hidroeléctrica.

COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

- **La presa**, que es el elemento encargado de contener la materia prima de generación (el agua) de un río y almacenarla en un embalse.
- **Rebosaderos**, son los elementos que permiten liberar parte del agua que es retenida sin que pase por la sala de máquinas, para no sobrecargar la fuerza que puede contener la cortina de la presa.
- **Destruccionadores de energía**, se utilizan para evitar que la energía que posee el agua que desciende por las tuberías desde los salientes de una presa de gran altura produzcan, al impactar contra el suelo, grandes erosiones en el terreno. Básicamente encontramos dos tipos de destructores de energía en las centrales hidroeléctricas:
 - **Los dientes o prismas de cemento**, este tipo de destructores de energía provocan un aumento de la turbulencia y de los remolinos.

- **Los deflectores de salto de esquí**, estos disipan la energía aumentando la fricción del agua con el aire y a través del choque con el colchón de agua que encuentra a su caída.
- **Cuarto de máquinas.** Es la construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central hidroeléctrica.



Fig. 1.2 cuarto de máquinas de una central.

- **Turbina.** Son los elementos que transforman en energía mecánica la energía cinética de la corriente de agua que se condujo hasta ella.
Las turbinas hidráulicas las podemos clasificar en dos grupos:

- 1) **Turbinas de acción.** Son aquellas en las que la energía de presión del agua se transforma completamente en energía cinética. Tienen como característica principal que el agua tiene la máxima presión en la entrada y la salida del rodillo. Esto quiere decir que se tiene un aprovechamiento del 100% de la energía cinética producida por la caída del agua.

Un ejemplo de este tipo son las turbinas Pelton, también se conoce con el nombre de turbina de presión. Son adecuadas para los saltos de gran altura y para los caudales relativamente pequeños. La forma de instalación más habitual es la disposición horizontal del eje, como se muestra en la figura.



Fig. 1.3 Turbina tipo Pelton.

- 2) **Turbinas de reacción.** Son las turbinas en que solamente una parte de la energía de presión del agua se transforma en energía cinética. En este tipo de turbinas, el agua tiene una presión más pequeña en la salida que en la entrada, en este tipo de turbinas no se puede aprovechar al 100% la energía cinética de la caída del agua.

Un ejemplo de este tipo son las turbinas Kaplan, son turbinas de admisión total y de reacción. Se usan en saltos de pequeña altura con caudales medianos y grandes. Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, pero también se pueden instalar de forma horizontal o inclinada como se muestra en la siguiente figura.



Fig. 1.4 Turbina de tipo Kaplan.



- **Alternador.** Tipo de generador eléctrico destinado a transformar la energía mecánica en eléctrica, propulsado por el giro de las turbinas.
- **Conducciones.** La alimentación del agua a las turbinas se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones. En el caso de los canales, se pueden realizar excavando el terreno o de forma artificial mediante estructuras de hormigón. Su construcción está siempre condicionada a las condiciones geográficas. La parte final del recorrido del agua desde la cámara de carga hasta las turbinas se realiza a través de una **tubería forzada**. Para la construcción de estas tuberías se utiliza acero para saltos de agua de hasta 2000m y hormigón para saltos de agua de 500m.
- **Válvulas**, dispositivos que permiten **controlar y regular la circulación del agua** por las tuberías.
- **Chimeneas de equilibrio**, son unos pozos de presión de las turbinas que se utilizan para evitar el llamado “**golpe de ariete**”, que se produce cuando hay un cambio repentino de presión debido a la apertura o cierre rápido de las válvulas en una instalación hidráulica.

FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La presa, colocada en el caudal de un río, acumula artificialmente un volumen de agua para formar un embalse. Eso permite que el agua adquiera una energía potencial que después se transformará en electricidad.

Para lograr esto, la presa se sitúa aguas arriba, es decir, a un nivel superior en cuanto a altura; con una válvula que permite controlar la entrada de agua a la galería de presión; previa a una tubería forzada que conduce el agua hasta la turbina del cuarto de máquinas de la central hidroeléctrica.

El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en energía cinética (es decir, va perdiendo fuerza y adquiere velocidad). Al llegar al cuarto de máquinas el agua actúa sobre los álabes de la turbina hidráulica, transformando su energía cinética en energía mecánica de rotación.

El eje de la turbina está unido al del generador eléctrico, que al girar convierte la energía rotatoria en corriente alterna de media tensión (13.8-24 kV).

El agua, una vez ha cedido su energía, es restituida al río aguas abajo de la central a través de un canal de desagüe procedente del cuarto de máquinas.



Fig. 1.5 Proceso de generación de energía eléctrica en una central hidroeléctrica.

1.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es aquella energía almacenada en forma de calor por debajo de la tierra, en esta definición o concepto se puede incluir el calor que se encuentra en las capas formadas por rocas, suelos y aguas termales, sea la temperatura que sea, profundidad o de donde procedan. En la actualidad, está considerada como una fuente de energía renovable abundante y de explotación viable. Por su temperatura o “entalpía” (magnitud termodinámica simbolizada con la letra H mayúscula) se presentan de la siguiente manera:

Clasificación por Entalpía			
Tipo Yacimiento	Tipo de Terreno	Rango de Temperatura	Uso Principal
Muy Baja Entalpía	Subsuelo con o sin agua	$5^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$	Climatización
	Aguas Subterráneas	$10^{\circ}\text{C} < T < 22^{\circ}\text{C}$	
	Aguas Termales	$22^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$	Balnearios
Baja Entalpía	Zonas Volcánicas	$T < 100^{\circ}\text{C}$	Calor de Distrito
	Sedimentos Profundos		
Media Entalpía		$100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad, Ciclos Binarios
Alta Entalpía		$T > 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad

Fig. 1.6 Clasificación de los yacimientos por su entalpía (H).

La energía calórica contenida bajo la tierra es enorme. En algunas zonas del planeta podemos encontrar (con relativa facilidad y dependiendo de la topografía) que este calor afecta a grandes volúmenes del suelo o napas (yacimientos) de agua. En algunos casos el agua entra en ebullición y encuentra escape a la superficie como grandes chorros de vapor. En otros casos el calor está almacenado en la tierra y las piedras y para extraerlo se inyectan toneladas de agua que se evaporan y vuelven a la superficie con gran energía.

Si bien es más abundante en algunas partes del mundo que en otras, esto no impide que actualmente se utilice como fuente de energía renovable en muchos países del mundo, en un conjunto de aplicaciones diversas. Esta fuente de energía se puede utilizar tanto para suministrar calor como para generar electricidad. Normalmente, estas tecnologías disponibles se dividen en tres categorías: las centrales geotérmicas, las aplicaciones de uso directo y las bombas de calor geotérmicas.

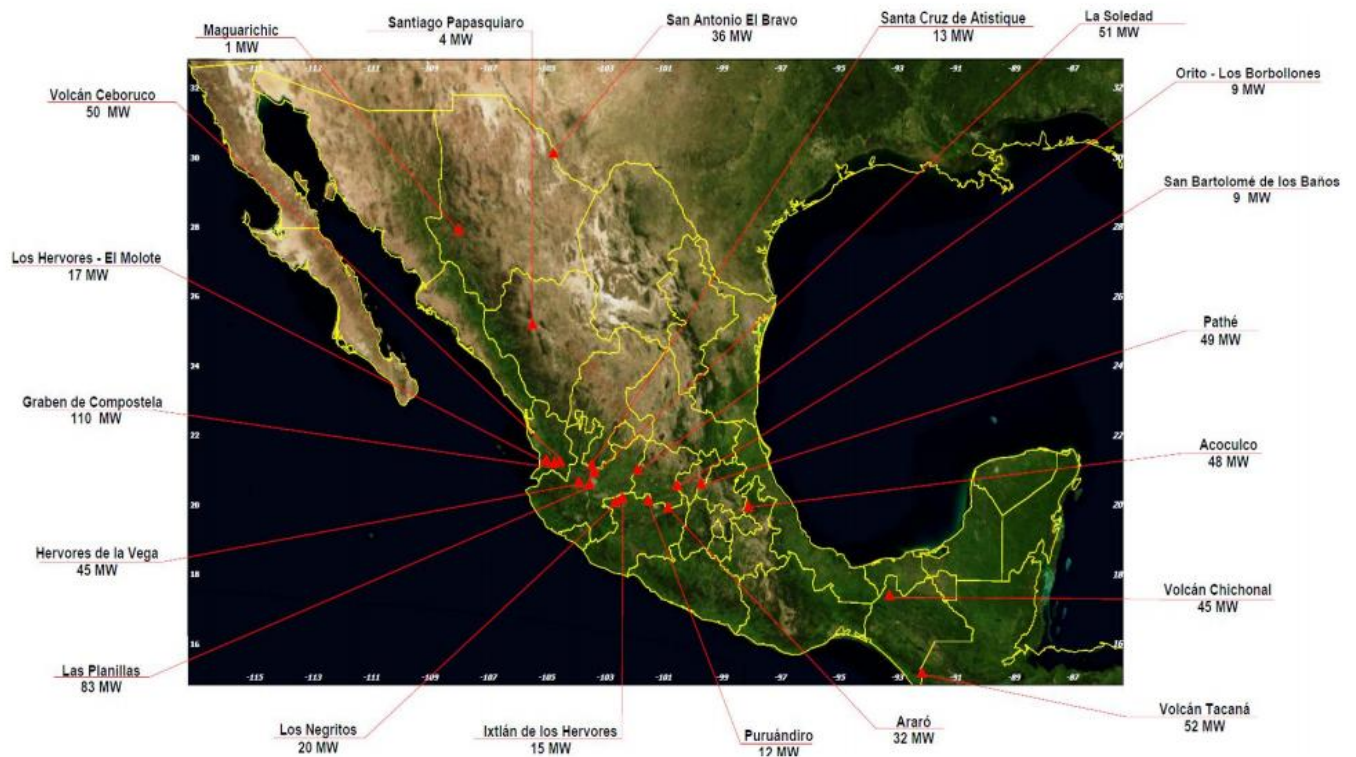


Fig. 1.7 Zonas geotérmicas de México.

Las principales zonas de energía geotérmica que es aprovechada en México para la generación de energía eléctrica se encuentran situadas en la franja volcánica del país que comprende los estados de: Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro y Puebla.

Las centrales geotérmicas generan electricidad a partir de la perforación de pozos, de un kilómetro o más de profundidad, para explotar depósitos subterráneos geotérmicos, de vapor de agua y agua muy caliente.

PARTES PRINCIPALES DE UNA CENTRAL GEOTÉRMICA

Las partes que constituyen una central geotérmica son las mismas que en una central térmica. La única diferencia es el quemador y las chimeneas.

-Canalizaciones de agua

Estos conductos hacen la función del quemador ya que sirven para calentar el agua que moverá la turbina, debido a las altas temperaturas que alcanza el vapor de agua (procedente del interior de la Tierra) que transportan.



-Turbinas

Son consideradas la parte más importante de la central ya que son las encargadas de mover el generador para producir la electricidad.

Estas turbinas deben estar diseñadas para soportar una temperatura de unos 600° C y una presión de unos 350 bares.

Las turbinas están formadas por una serie de álabes de distintos tamaños que aprovechan la presión del vapor de agua para hacer girar la turbina.

-Generador

Es el encargado de producir la electricidad mediante el movimiento que la turbina le proporciona de acuerdo a la presión de vapor que se aplica a la turbina.

-Condensador

Es el encargado de condensar el vapor que se encarga de mover la turbina para que pueda volver a ser utilizado en el proceso.

-Torres de refrigeración

Se encargan de mantener baja la temperatura del condensador, garantizando el correcto funcionamiento de la central.

El agua que refrigera el condensador es enfriada en las torres de enfriamiento al entrar en contacto con el aire frío que circula a través de ellas.

Otras partes de la central, también importantes para garantizar un buen funcionamiento, serían todas las tuberías y bombas que transportan toda el agua a través de toda la central.

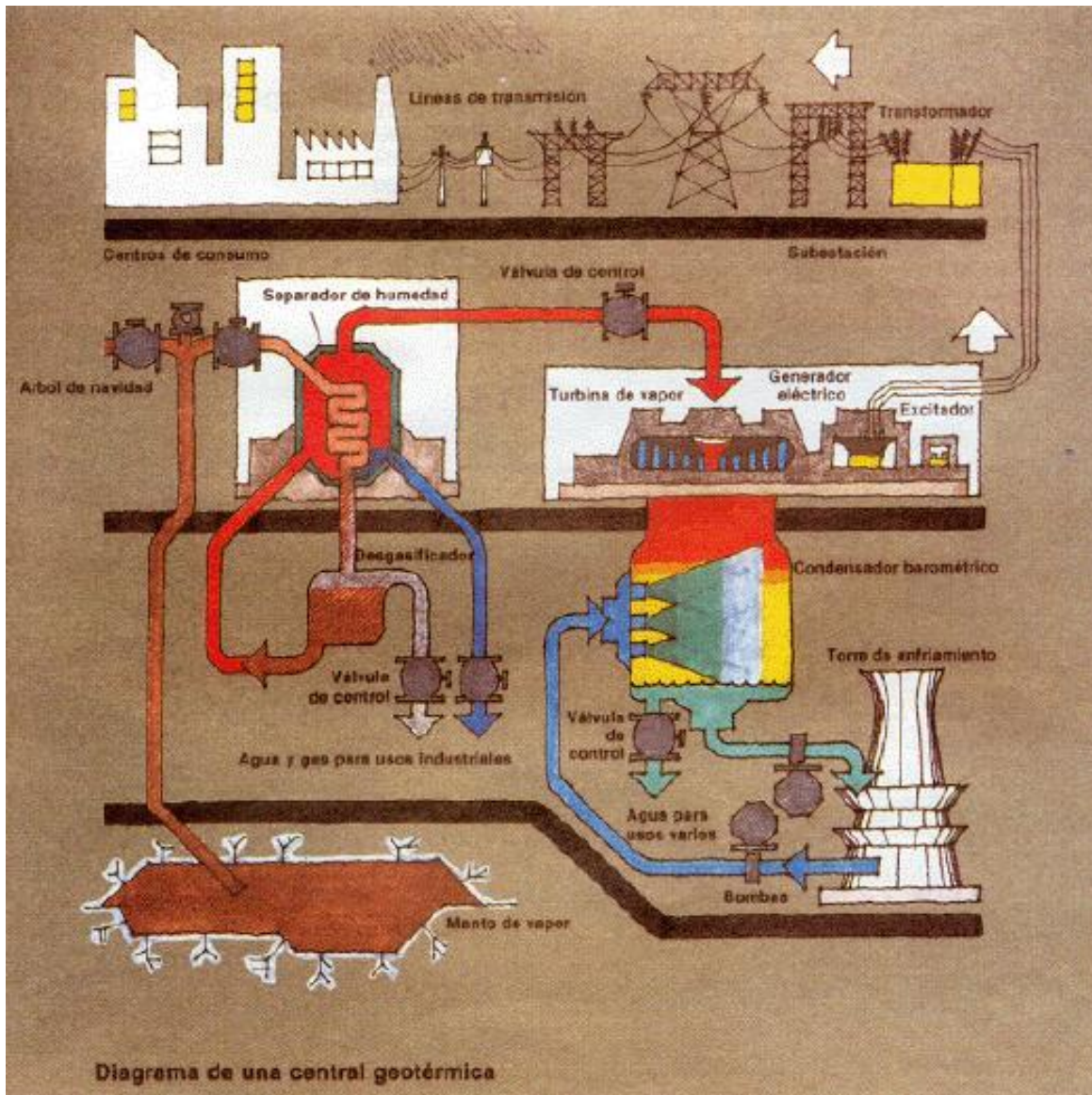


Fig. 1.8 Partes principales de la central geotérmica

CENTRALES GEOTÉRMICAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En la actualidad, funcionan tres tipos de centrales de generación eléctrica:

- **Centrales de vapor:** utilizan el vapor geotérmico directamente para hacer girar las turbinas de la central.
- **Centrales de transmisión de vapor:** reservas geotérmicas que producen agua caliente. Se aprovecha la parte que se convierte en vapor al llegar a la superficie.
- **Centrales de ciclo combinado:** utilizan el agua subterránea para transferir el calor a un segundo líquido que tiene una temperatura de evaporación más baja. Cuando este



líquido se evapora mueve las turbinas. Posteriormente se condensa este vapor y se reutiliza el líquido de nuevo.

Este último sistema, en comparación con los otros, es el que tiene más perspectivas de futuro. No emite ningún tipo de gases, puesto que es un ciclo cerrado, y funciona con temperaturas interiores de 110 a 160°C.

FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL GEOTÉRMICA

El ciclo para producir energía eléctrica en una central geotérmica se divide en tres procesos básicamente, primeramente captar y procesar el vapor de agua mediante sondeos, después captar y calentar el agua y por último producir la energía eléctrica.

Y este último proceso se lleva a cabo de la siguiente forma:

De entrada la mezcla de agua y vapor se conduce mediante tuberías desde los sondeos a la estación separadora, en la que el vapor y el agua toman trayectorias diferentes; el exceso de vapor y agua son eliminados a la atmósfera mediante las chimeneas de escape.

Ya que estos elementos se encuentran separados son conducidos hacia una central energética con una presión aproximada de 12 bars y una temperatura más o menos de 190 °C, el vapor se conduce hacia las turbinas que se encuentran acopladas a un generador, que convierte la energía cinética de la turbina en energía eléctrica.

En el condensador el vapor de agua es utilizado además para precalentar el agua fría, por otro lado en el primer intercambio de calor el agua caliente también es utilizada para el mismo fin, posteriormente el agua caliente y el agua precalentada se mezclan preliminar al segundo intercambio de calor y el calentamiento total y final del agua.

Se recuerda que la generación de energía eléctrica es un ciclo cerrado y continuo por lo que el proceso que se describió anteriormente se repite constantemente en la central generadora.

Ahora se ilustrará el proceso con una imagen descriptiva de los elementos que intervienen en el proceso de generación de energía eléctrica en la centra geotérmica.

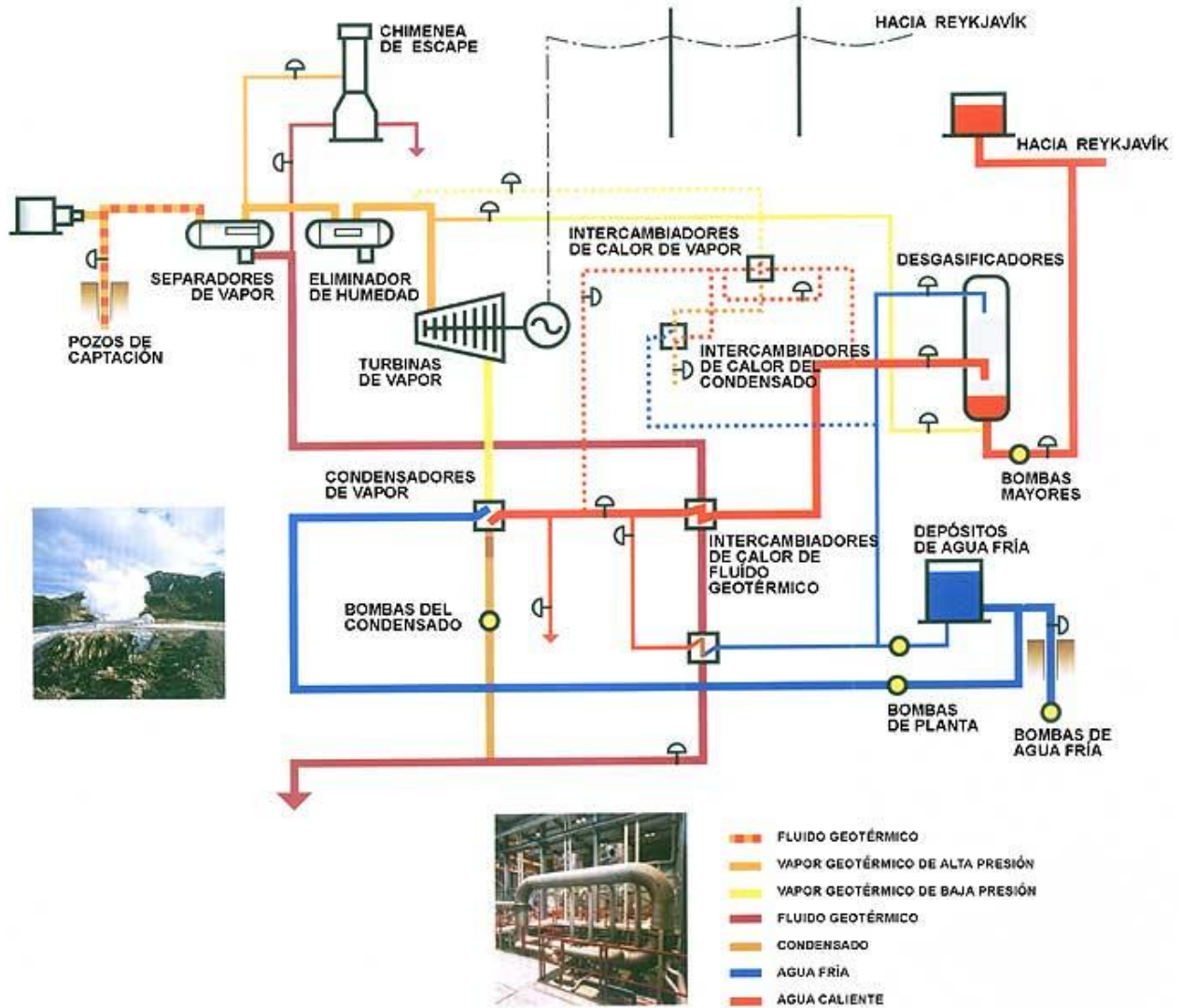


Fig. 1.9 Esquema del funcionamiento de la Central Geotérmica de Nesjavellir (Islandia).

1.6 ENERGÍA EÓLICA

Dicha energía consiste en el aprovechamiento de la energía cinética del viento. En la generación de energía eléctrica dicho proceso se lleva a cabo mediante un aerogenerador, cuyo movimiento responde a los principios de la física en los que se basa un molino de viento. Estos aerogeneradores pueden funcionar de manera individual o concentrada en un conjunto de varios de ellos llamados parques eólicos o centrales eólicas.



Fig. 1.10 Parque eólico.

Estos aerogeneradores pueden ser del tipo de eje horizontal o de eje vertical, aunque la mayoría de los utilizados son del primer tipo.

PARTES PRINCIPALES DE UN PARQUE EÓLICO

Un parque eólico como se mencionó anteriormente está constituido principalmente por un conjunto de aerogeneradores agrupados en una extensión de terreno, pero existen otros componentes y equipos que son necesarios para la construcción de un parque eólico, los cuales son los siguientes.

1. Turbinas. Estos son los elementos de los aerogeneradores en donde el viento golpea directamente y es aprovechada la energía cinética del viento para hacer mover las paletas.
2. Cables de conducción. Son los conductores que conducen la energía eléctrica que se genera hacia la caja de control/batería.
3. Sistema de toma a tierra. Es el conductor que baja de la torre del aerogenerador para ser aterrizado a tierra.

4. Caja de control/batería. Es el elemento en donde se recibe la energía que produce el aerogenerador.
5. Fuente de energía auxiliar. Es una fuente de energía de emergencia en caso de que se presente alguna falla.
6. Acumuladores. Es el conjunto de baterías en donde se almacena una cantidad de energía de reserva.
7. Transporte a la red eléctrica. Es la conexión para conducir la energía generada e inyectarla en el sistema eléctrico.

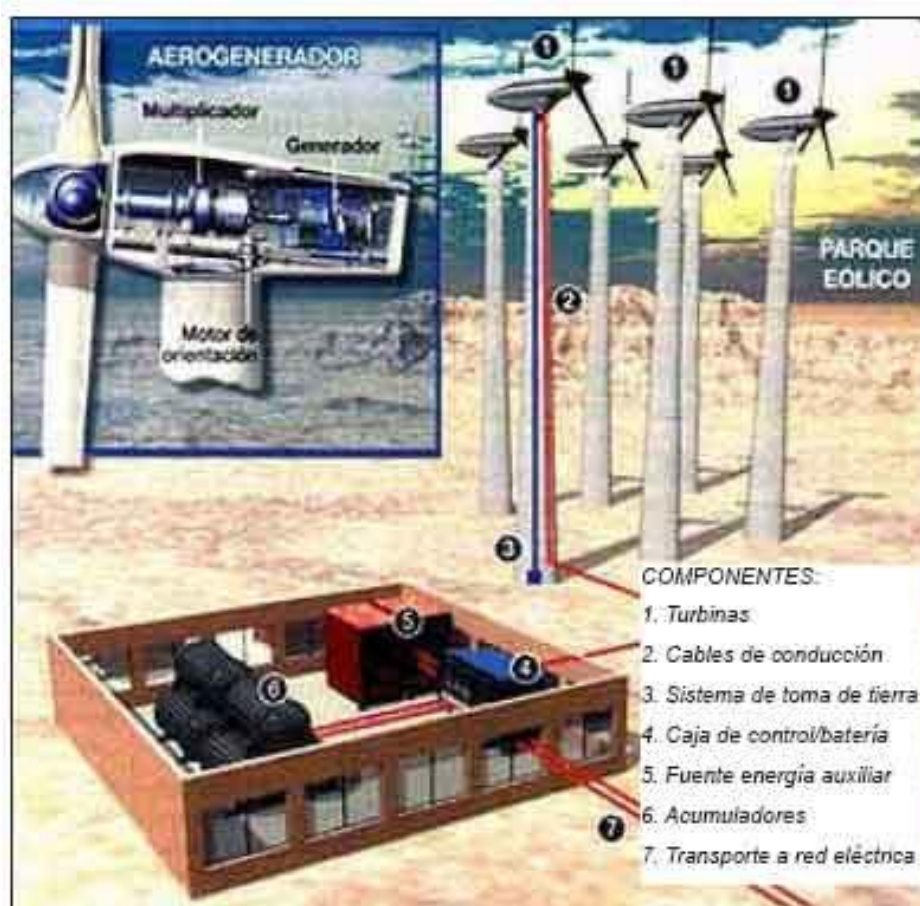


Fig. 1.11 Componentes principales de un parque eólico.

FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL EÓLICA

Para producir electricidad con una central eólica es necesario que el viento sople a una velocidad promedio de entre 3 y 25m/s.

El viento hace girar las palas al incidir sobre ellas, convirtiendo así la energía cinética del viento en energía mecánica que se transmite al rotor. Esta energía se transmite mediante un eje de baja velocidad a la caja del multiplicador, de donde sale a una

velocidad 50 veces mayor. Es entonces cuando se puede transmitir al eje del generador eléctrico para producir energía eléctrica.

En un aerogenerador se crea electricidad estática al producirse el roce del viento sobre él. Esta electricidad estática se descarga a través de una red en el suelo que tienen todos los aerogeneradores. Esta red en el suelo se instala porque, debido a la altura de la torre, se crea una diferencia de potencial entre el suelo y el aerogenerador.

1.7 ENERGÍA SOLAR

La radiación solar está comenzando a tener un auge significativo en estos últimos años ya que puede utilizarse para sistemas de alta temperatura, donde la idea es aprovechar la radiación térmica del sol para obtener beneficios como calefacción, agua caliente, cocinar, etc.; aunque también se ha utilizado para la generación de energía eléctrica mediante los sistemas fotovoltaicos que cada día más cobran más terreno.



Fig. 1.12 Algunas aplicaciones de la energía solar.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Este sistema consiste en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante células solares hechas principalmente de silicio. Esta forma de generar energía eléctrica se ha concentrado principalmente en la alimentación de cargas pequeñas o medianas de pocas demandas de energía, aisladas o remotas en donde no se cuenta con el servicio mediante la red del sistema eléctrico de potencia.

Debe de mencionarse que la generación de energía eléctrica con este tipo de método se realiza en corriente directa, por lo que es necesario que sea transformada a corriente alterna para poder ser utilizada por los usuarios.



PARTES DE UNA CENTRAL FOTOVOLTÁICA

1. Paneles solares.
Los equipos fotovoltaicos o paneles solares transforman la energía solar en energía eléctrica y se almacena en un banco de baterías.
2. Banco de baterías.
Las baterías almacenan la energía proveniente de los módulos solares para que pueda ser usada durante la noche, su tamaño es determinado por los períodos de nublados esperados.
Las baterías son de plomo ácido en dos versiones: electrolito líquido (abiertas y cerradas) y de electrolito inmovilizado (gel) para aplicaciones que requieran muy bajo mantenimiento.
3. Inversor.
Es el dispositivo encargado de hacer la conversión de corriente directa generada por los paneles solares a corriente alterna que es la que utilizan los usuarios.
4. Líneas de transporte de energía.
Son los conductores que transportan la energía hacia los centros de carga o consumo.

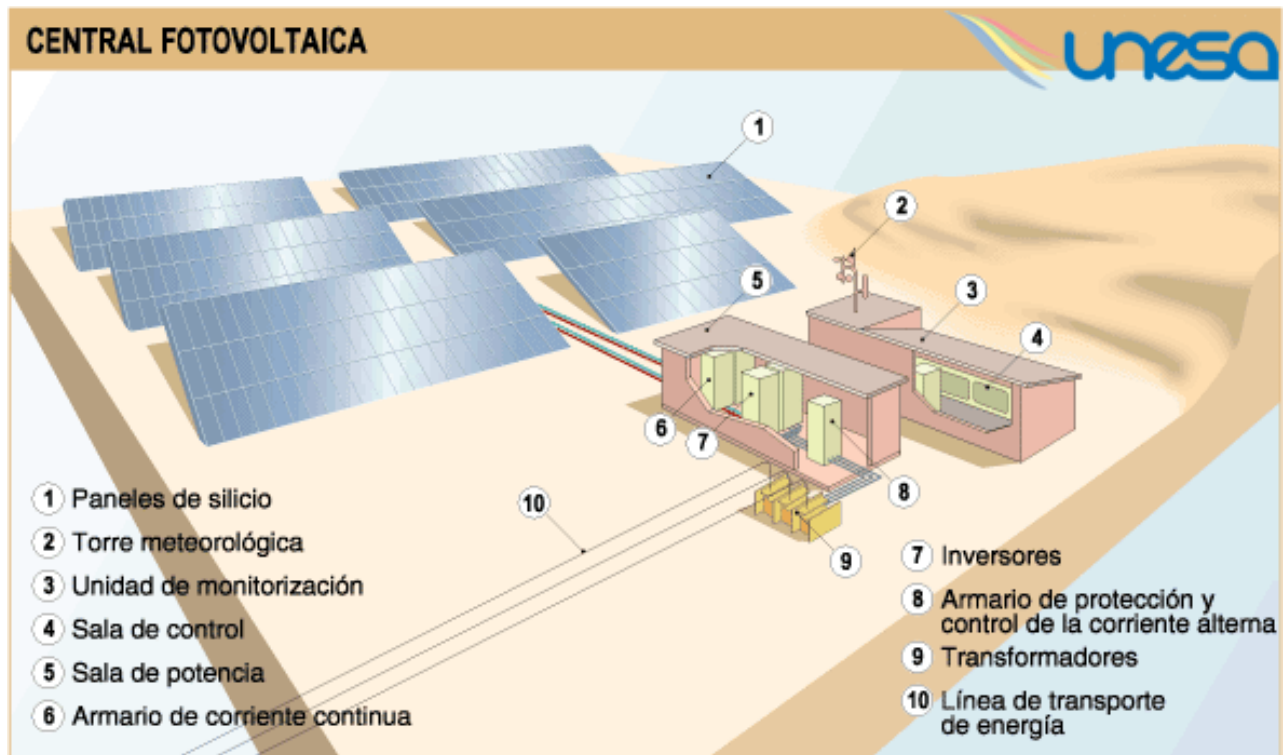


Fig. 1.13 Partes principales de una central fotovoltaica

FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA

Las células fotoeléctricas transforman la energía solar en electricidad en forma de corriente continua, y ésta suele transformarse a corriente alterna para poder utilizar los equipos electrónicos que solemos tener en nuestras casas.

El dispositivo que se encarga de esta transformación se denomina inversor. El inversor transforma la corriente continua en corriente alterna con las mismas características que la de la Red eléctrica a la que va a verse, controlando la uniformidad y calidad de la señal.

Esta corriente alterna generada finalmente pasa por un contador (que la cuantifica) y de allí es inyectada a la Red general.

La tecnología solar fotovoltaica puede ser empleada mediante una instalación aislada, sin acceso a la red eléctrica. Esta es muy útil en poblaciones donde es difícil realizar este tipo de conexiones. La electricidad generada se destina al autoconsumo. En este caso será necesario instalar baterías al sistema para poder acumular esta energía generada y así poder consumirla durante la noche.

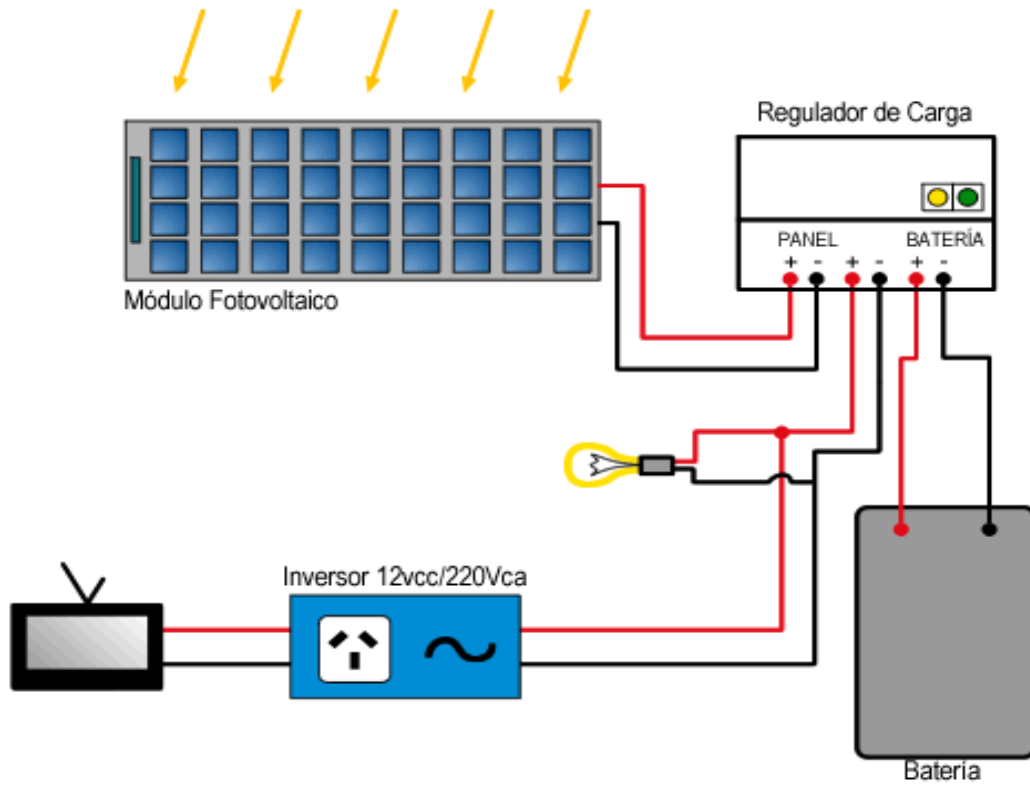


Fig. 1.14 Funcionamiento de una central fotovoltaica.

1.8 PRESENCIA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO Y EN EL MUNDO.

Mediante una gráfica se podrá ver de forma clara la presencia de las energías renovables a nivel mundial, que representan el 18% de la generación de energía eléctrica y se presenta a continuación.

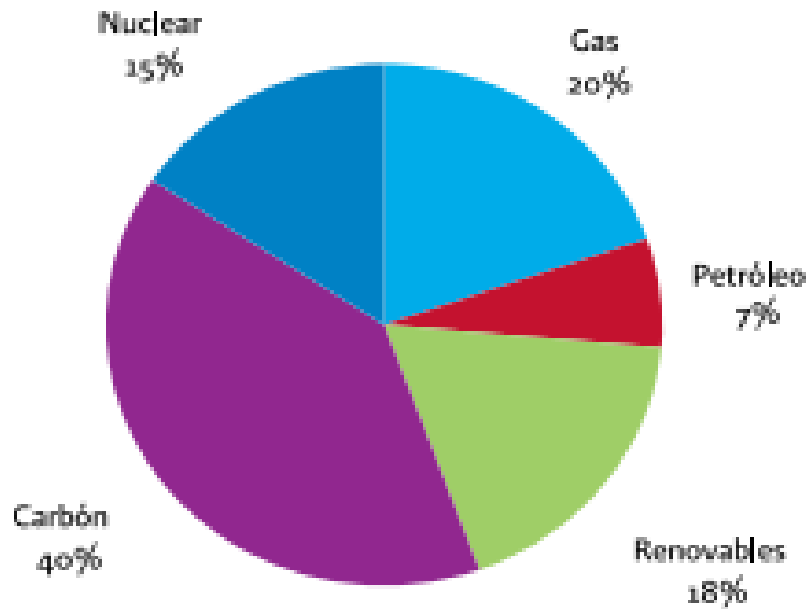


Fig. 1.15 Participación de las energías renovables en el mundo en la generación de energía eléctrica.

En México las energías renovables hasta Agosto del 2010 suman **2366 MW** del total de energía eléctrica producida en nuestro país, se presenta a continuación una gráfica de las energías renovables que forman parte de dicha producción.

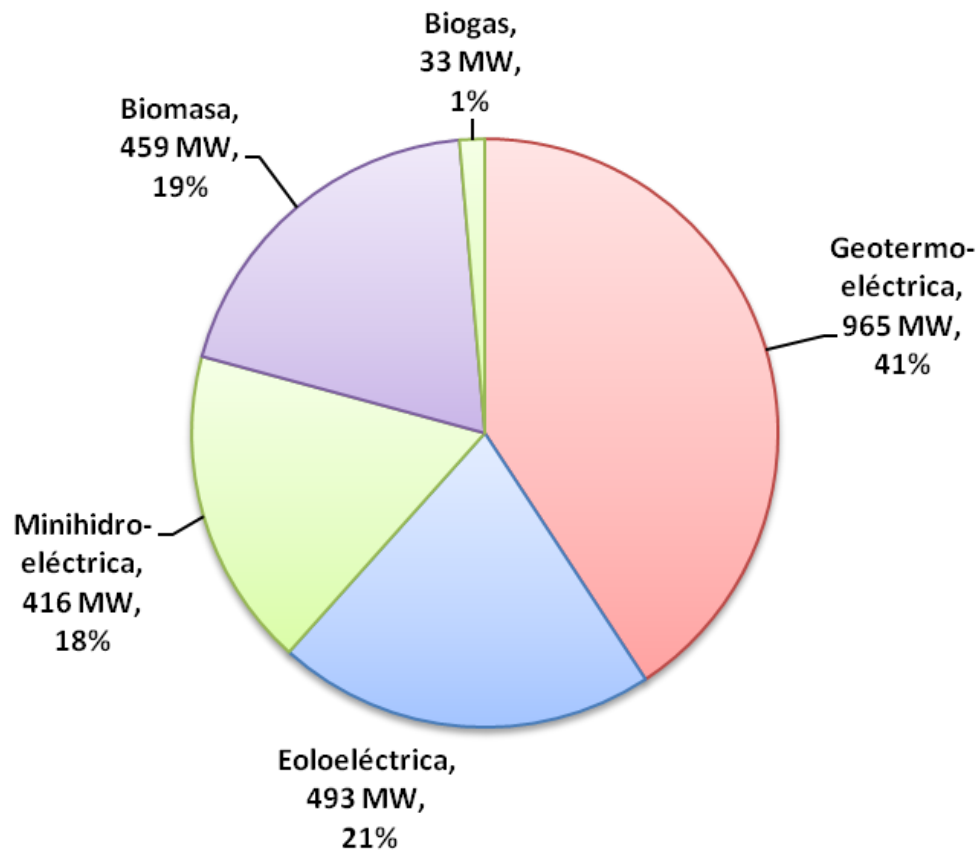


Fig. 1.16 Participación de los tipos de energías renovables en la generación de energía eléctrica en México.



CAPÍTULO II

GENERACIÓN EÓLICA

2.1 Introducción

2.1.1 El viento

Es una interesante fuente de energía, es un recurso renovable, limpio y gratuito, y aun que el viento es un fenómeno complejo, es posible explicarlo en una forma sencilla.

El sol calienta la superficie de la Tierra en diferente medida (esto dependerá de si la superficie está cubierta de nubes); si la luz solar está directamente a una superficie de tierra, o si se trata de la superficie del océano. El aire que está encima de esas zonas más cálidas se calienta, se vuelve menos denso y asciende, al ascender pasa por un proceso de enfriamiento y desciende de nuevo, al descender empuja el aire caliente y esto produce movimiento, que es a lo que llamamos viento.

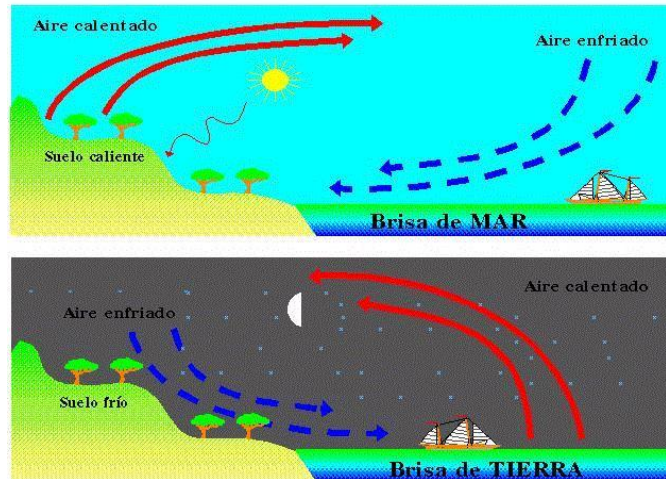


Fig. 2.1 Calentamiento y movimiento del aire

La energía eólica claramente está totalmente dependiente de la cantidad de viento que pasa por el aerogenerador. Por esto mismo la potencia con la que viento pasa por nuestras hélices (*potencia del viento*) es un dato que requerimos conocer.

El viento produce una energía que puede expresarse con la relación de la velocidad que tiene y la masa del mismo. La velocidad del viento no es una magnitud que se mantenga constante, es afectada por muchos factores (objetos en su trayecto, la hora del día o de la noche, eventos climáticos, etc.)

Como bien el viento es cambiante debido a lo anteriormente mencionado, se puede realizar un censo de las velocidades que tiene una zona, esto también es solo por

periodos de tiempo (es decir en diferentes meses tendremos diferentes velocidades), y mediante ese censo es aceptable realizar una velocidad promedio.

La velocidad del viento, además de expresarse en las unidades convencionales, puede expresarse por sus efectos sobre el ambiente en el que actúa, por medio de una cantidad denominada **número de Beaufort**; este número nos da una escala por la velocidad del viento, con la siguiente expresión:

Velocidad del viento (m/s) = 0.837 x número de beaufort a la 3/2

$$v = 0.837 B^{3/2} \text{ (m/s)}$$

En la siguiente tabla encontramos el valor del número de beaufort:

Escala de Viento de Beaufort	
Fuerza 0	Calma
Fuerza 1	Brisa Suave
Fuerza 2	Brisa Muy Débil
Fuerza 3	Brisa Débil
Fuerza 4	Brisa Moderada
Fuerza 5	Brisa Fresca
Fuerza 6	Brisa Fuerte
Fuerza 7	Vientos con Fuerza cerca de Galerna
Fuerza 8	Galerna
Fuerza 9	Galerna Fuerte
Fuerza 10	Tormenta
Fuerza 11	Tormenta Violenta
Fuerza 12	Huracán

Fig. 2.2. Escala de viento de Beaufort

La velocidad obtenida por el número de Beaufort corresponde al desplazamiento superficial del viento, pero como se sabe la velocidad del viento aumenta con la altura, por lo que tenemos que hacer un factor de corrección por la altura.

El factor de corrección está dado por, la velocidad y altura de referencia (V_0 y h_0) y la velocidad de incidencia del viento sobre las palas (V) las cuales están montadas sobre una torre con cierta altura (h). Y la expresión nos queda así:



$$\frac{V}{V_o} = \frac{h}{h_o} (\infty)$$

Dónde:

V_o =Velocidad de referencia

V =Velocidad del viento a la altura (h)

h =Altura de montaje del aerogenerador

h_o =Altura de referencia (por lo general 10 m.)

∞ =Valor dado por la topografía del lugar.

$\infty = 1/2$ Para velocidades menores de 8 km/h

$\infty = 1/5$ Para velocidades de 8 a 56 km/h

$\infty = 1/7$ Para velocidades mayores de 56 km/h

La masa del aire se define como el producto de su densidad por su volumen. Para obtener el volumen del viento se realiza el producto de la velocidad y el área por la que pasa, en un determinado tiempo. Dicho esto la expresión matemática nos quedaría como la siguiente:

Masa= Densidad (Área x velocidad x tiempo)

$$m = \rho AVt$$

Cuando la masa del viento es conocida, se puede determinar la cantidad de energía que nos proporciona con la siguiente ecuación:

Energía del viento=1/2 x masa x (velocidad)²

$$\text{Energía del viento} = 1/2(m)(v)^2$$

Ahora haciendo la sustitución de la ecuación de la masa en la ecuación anterior nos quedaría una expresión así:

Energía del viento = 1/2 x densidad x (área x velocidad x tiempo) x velocidad²

$$\text{Energía del viento} = \frac{1}{2} \rho AtV^3$$



Como podemos ver aquí vuelve a quedar claro que la velocidad es el factor más influyente en la energía del viento, a mayor velocidad mayor energía, y se puede apreciar por que la velocidad esta elevada al cubo.

Para obtener el área de incidencia del viento, que es el área correspondiente a la del rotor usamos la fórmula:

$$A = \pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

Realizando una sustitución más en la ecuación de la energía del viento, con el área del rotor tenemos:

$$\text{Energia cinetica del viento} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) t V^3$$

$$Ec = \frac{\rho \pi D^2}{8} t V^3$$

Conociendo la energía que produce el viento, podemos obtener la potencia teórica que obtendremos del aerogenerador; ya que la energía empleada por un periodo de tiempo, es la potencia de trabajo realizado. Por lo tanto:

$$P = \frac{Ec}{t} = \frac{\rho \pi D^2 V^3}{8}$$

En las ecuaciones se ha estado manejando la densidad del aire, y sabiendo que es una constante al igual que Pi, podemos remplazar los valores de estos para simplificar la ecuación.

La densidad del aire = 1.25 kg/m³

Por lo tanto:

$$P = 0.49 D^2 V^3$$

Del cálculo de la potencia anterior, se tiene que hacer un ajuste ya que no se considera ni la eficiencia de la turbina, ni la eficiencia del generador, es decir únicamente se ha calculado la potencia teórica en un casi ideal; a este ajuste de potencia se le conoce como coeficiente de Betz (Cp), el cual tiene un valor de Cp=0.5925, y representa la máxima fricción que se puede obtener.

Por lo tanto la ecuación para obtener la potencia real de nuestro aerogenerador es:

$$P_{real} = (C_p)(P_t)(\eta)$$

Dónde:

P_t=Potencia teórica.

η=Producto de los coeficientes de pérdidas.

El producto de los coeficientes de pérdidas (η), se da por dos zonas muy específicas del aerogenerador, en el generador (η_g) y en los componentes mecánicos (η_m) por la fricción. En conjunto de estas dos pérdidas determina la eficiencia del aerogenerador (η).

$$\eta = (\eta_g)(\eta_m)$$

La eficiencia de un aerogenerador se encuentra entre 0.4 y 0.5 dependiendo de las condiciones constructivas.

Entonces si hacemos la sustitución de la potencia teórica, en la ecuación de la potencia real obtendríamos la siguiente ecuación:

$$P = (0.49D^2V^3)(C_p)(\eta)$$

O utilizando el área donde incide el viento:

$$P = (1/2\rho AV^3)(C_p)(\eta)$$

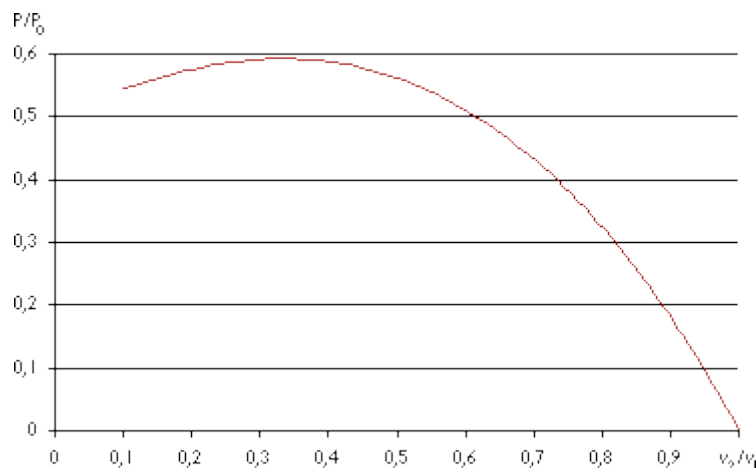


Fig. 2.3 Límites de Betz

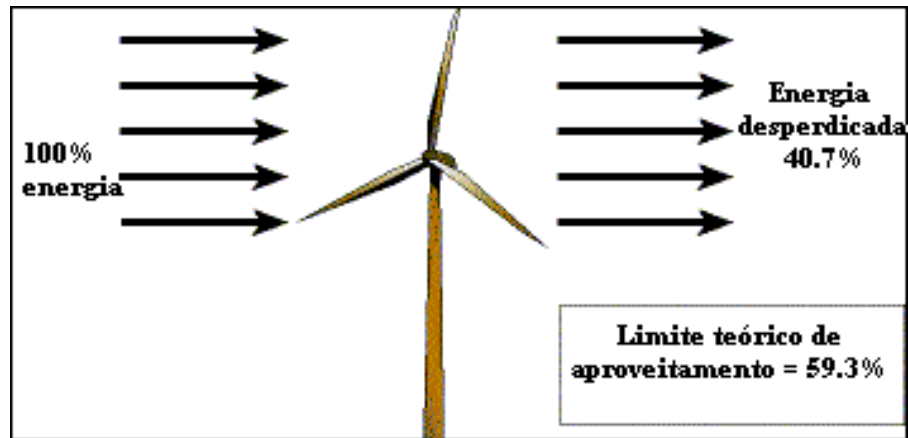


Fig. 2.4 Límites de Betz sobre la eficiencia del viento

Otro factor que se utiliza a la hora de calcular lo necesario para un aerogenerador, es la **densidad de potencia**, la cual es la potencia disponible en la zona donde se colocara el generador, sus medidas son watts/metro cuadrado multiplicado por el tiempo de monitoreo, y su fórmula es la siguiente:

$$\frac{E}{A} = \frac{\text{Potencia en watts horas x horas del periodo escogido}}{1000}$$

Dónde:

1000= Es empleado para pasar la magnitud en kilómetros

Esta densidad también es una densidad teórica, por lo que se tiene que multiplicar por los límites de Betz para obtener la densidad real.

En el siguiente mapa se encuentra las áreas con mayor potencia de viento a 80 metros en el país.



Fig. 2.5 Potencia del viento en México

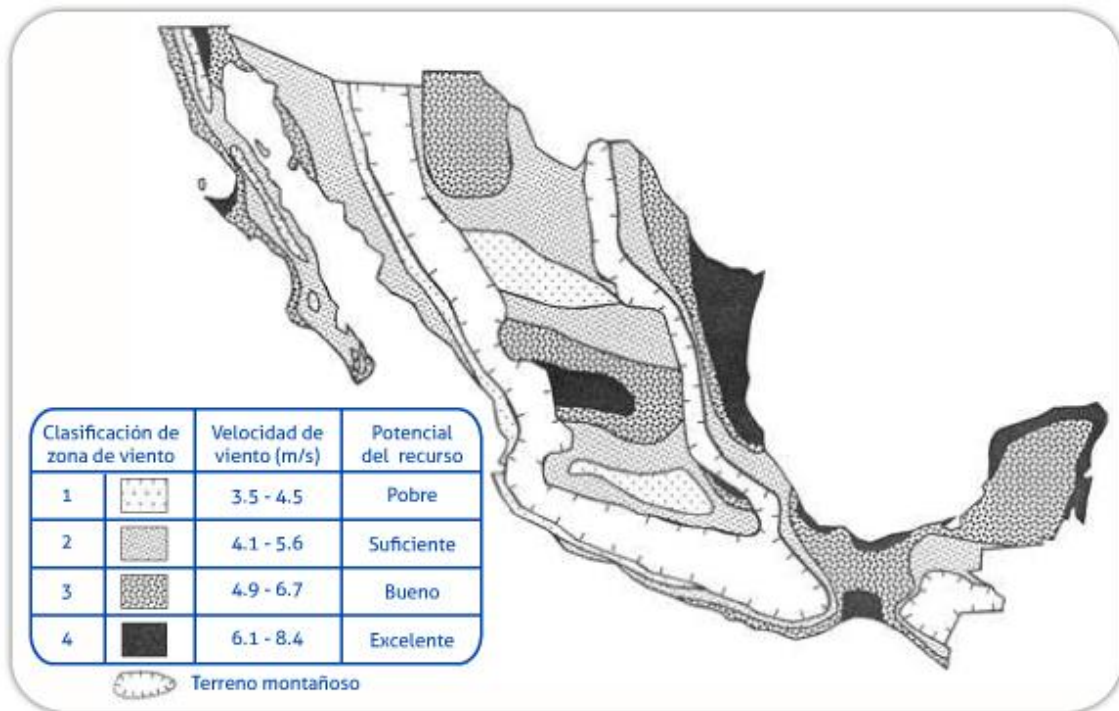


Fig. 2.6 Velocidades del viento en México.

2.1.2 Aerogeneradores

Un **aerogenerador** es una maquina mecánica que se favorece de la energía del viento para convertirla en energía eléctrica. Esta máquina es una derivación de los molinos de viento que se empleaban para moler y obtener harina.

La energía Eólica es en realidad la energía cinética del aire en movimiento, con la cual se mueve la hélice , y por medio de un sistema mecánico hace girar el rotor de un generador (normalmente un alternador trifásico) que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Los aerogeneradores se agrupan en parques eólicos con una distancia considerable unos de otros, para que el funcionamiento de los mismos no se vea afectado por otro aerogenerador o bien no produzcan un daño severo ya sea a otro aerogenerador, o para reducir el impacto ambiental por la turbulencia generada por el movimiento de las hélices.

Las turbinas eólicas están diseñadas para trabajar dentro de cierto rango de velocidades de viento.

La velocidad más baja con la que puede trabajar una turbina, es llamada **velocidad de corte inferior**, para la mayoría de las turbinas (no todas) es de 3 a 5 m/s, es importante tener en cuenta cual es la velocidad de corte de la turbina empleada ya que por debajo de esta velocidad no hay suficiente energía cinética como para superar las pérdidas del *sistema eléctrico* alimentado.

La **velocidad más alta que puede soportar una turbina se llama velocidad de corte superior la cual** es determinada por la capacidad de la turbina.

Pero para un Aerogenerador la **velocidad nominal es la que nos interesa que la turbina reciba la mayor parte del tiempo, ya que** es la velocidad que debe de tener el viento para que la turbina genere su *potencia nominal*.

Si el viento está por encima de la velocidad nominal, algunos aerogeneradores cuentan con mecanismos que mantiene la potencia de salida en un valor constante; otros cuando la velocidad nominal es superada simplemente cesan la producción de energía y se apagan.

Por lo tanto es evidente que para los aerogeneradores el factor que más nos interesan o bien uno de los más importante es el viento.

2.2 Funcionamiento

La generación de energía a partir del viento es un tanto compleja pero podemos explicarlos de una forma simple.

El viento pasa sobre las hélices del *aerogenerador* y provoca una fuerza giratoria. Las *palas* hacen rotar un eje que hay dentro de la *góndola*, que entra a una caja de cambios. La caja de cambios incrementa la velocidad de rotación del eje proveniente del rotor e impulsa el *generador* para convertir la energía rotacional en energía eléctrica.

La energía del *generador*, pasa por un *transformador* para incrementar la *tensión eléctrica* al valor necesario para la red de distribución,

Tenemos varios modelos y tipos de aerogeneradores: terrestres y marinos, cada uno de estos tienen en la parte superior de la góndola dos instrumentos que miden la velocidad y la dirección del viento. Cuando el viento cambia de dirección, los motores giran la góndola y las palas se mueven con ella para ponerse de cara al viento. Las hélices también se inclinan o se ponen en ángulo para asegurar que se extrae la cantidad óptima de energía a partir del viento.

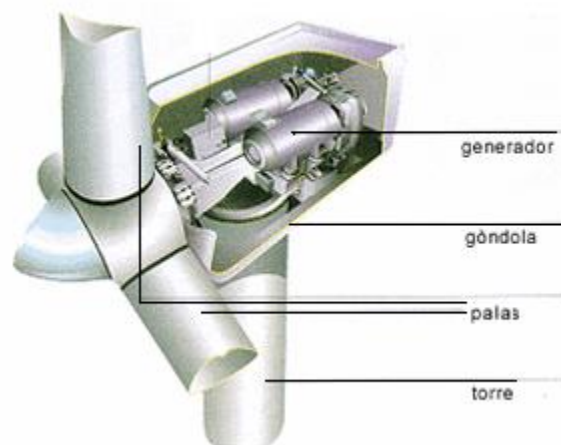


Fig. 2.7 Aerogenerador.

2.3 Sus partes

Un aerogenerador está compuesto por las siguientes partes cada una de ellas tan importante como el propio generador.

- **Cimentación**
- **Torre**
- **Rotor**
- **Palas**
- **Góndola**
- **Caja de cambios**
- **Generador**
- **Sistema de frenos**
- **Sistema de control**
- **Veleta y el anemómetro**

2.3.1 Cimentación

Los aerogeneradores actuales están constituidos por una cimentación subterránea de hormigón armado, adecuada al terreno y a las cargas del viento, sobre la cual se levanta una torre.

2.3.2 Torre

La torre de un aerogenerador es el elemento estructural que soporta todo el peso del aerogenerador y mantiene elevadas del suelo las palas de la turbina. Está ser típicamente de acero de tipo tubular u hormigón armado y normalmente hueca por dentro para poder permitir el acceso a la góndola (en la actualidad se suelen utilizar estructuras mixtas en las que la parte inferior es de hormigón y la superior de acero). Al extremo de la torre se fija una góndola giratoria de acero o fibra de vidrio.

2.3.3 Rotor y las palas

Normalmente las turbinas modernas están formadas por dos o tres palas, siendo las de tres palas las más usadas por suavidad que proporcionan en el giro. Las palas están fabricadas de un material compuesto de matriz polimérica (poliéster) con un refuerzo de fibras de vidrio o carbono para dar mayor resistencia. Pueden medir longitudes en el rango desde 1 metro hasta 100 metros y van conectados al buje del rotor.

Dentro del buje hay ciertos elementos mecánicos que permiten variar el ángulo de incidencia de las palas (también conocido como pitch).

La mayoría de los rotores en la actualidad son horizontales y pueden tener articulaciones, la más habitual es la de cambio de paso. En la mayoría de los casos el rotor está situado en la dirección desde la cual llega el viento (*barlovento*) a la torre, con el objeto de reducir las cargas cíclicas sobre las aspas que aparecen si se situara a *sotavento* (la dirección opuesta por la que llega el viento) de ella, pues al pasar una pala por detrás de la estela de la torre, la velocidad que hace contacto está muy alterada. Debido a este fenómeno, las torres de aeroturbinas con rotores a sotavento son de celosía metálica, por su mayor transparencia al viento.

2.3.4 Góndola

La góndola es un cubículo que se puede considerar la sala de máquinas del aerogenerador. Puede girar en torno a la torre para poner a la turbina encarada al viento. Dentro de ella se encuentran la caja de cambios, el eje principal, los sistemas de control, el generador, los frenos y los mecanismos de giro de la góndola.

2.3.5 Caja de cambios

La función de la caja de cambios es adecuar la velocidad de giro del eje principal a la que necesita el generador ya que la potencia del viento no es constante durante todo el día.

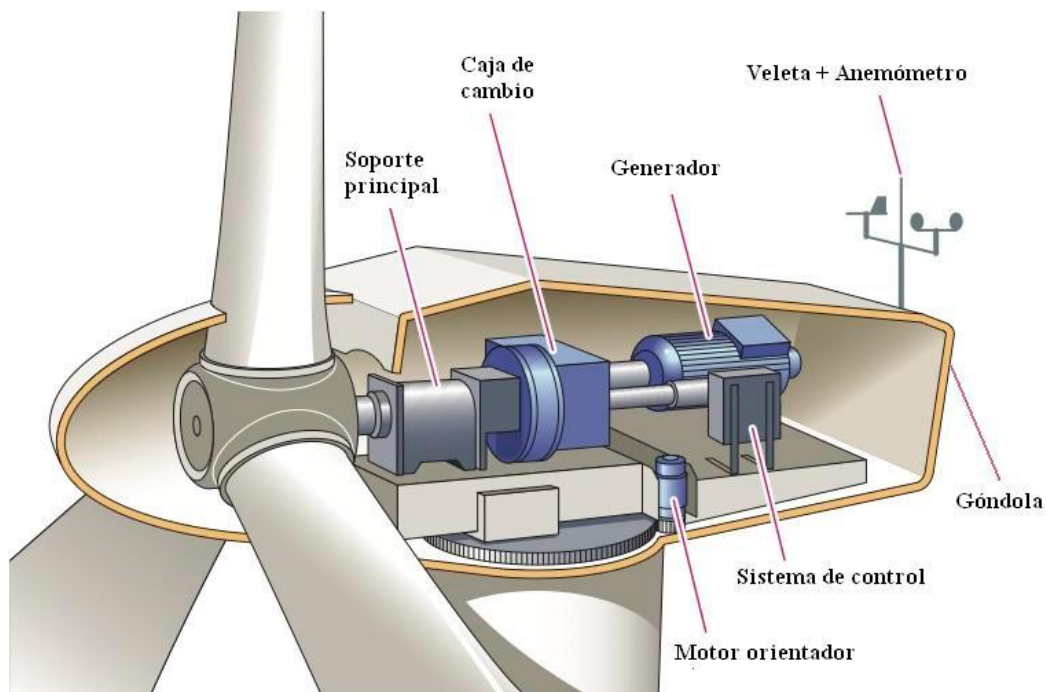


Fig. 2.8 Partes de un aerogenerador.

2.3.6 Generador

Hay varios tipos de generadores, pero la función es la; es una máquina que convierte una energía cinética, en energía eléctrica, la fuentes de energía cinética puede ser de varios tipos, por la potencia del agua, potencia del vapor, potencia de la energía solar, y en nuestro caso la potencia del viento

2.3.7 Sistema de frenado

Las turbinas eólicas están equipadas con sistemas de seguridad muy avanzados. El sistema de frenado de discos, que permite en situaciones de emergencia o de mantenimiento, parar el giro de las palas por ende parar la producción del aerogenerador.

2.3.8 Sistema de control

Una vez puesto en marcha un molino eólico, queda totalmente automatizado con sistemas de control formado por ordenadores. Estos manejan la información que suministran la veleta y el anemómetro colocados encima de la góndola para orientar el molino y las palas de forma que la generación se optimice lo máximo posible. Toda la información sobre el estado de la turbina se puede enviar de forma remota a un servidor central.

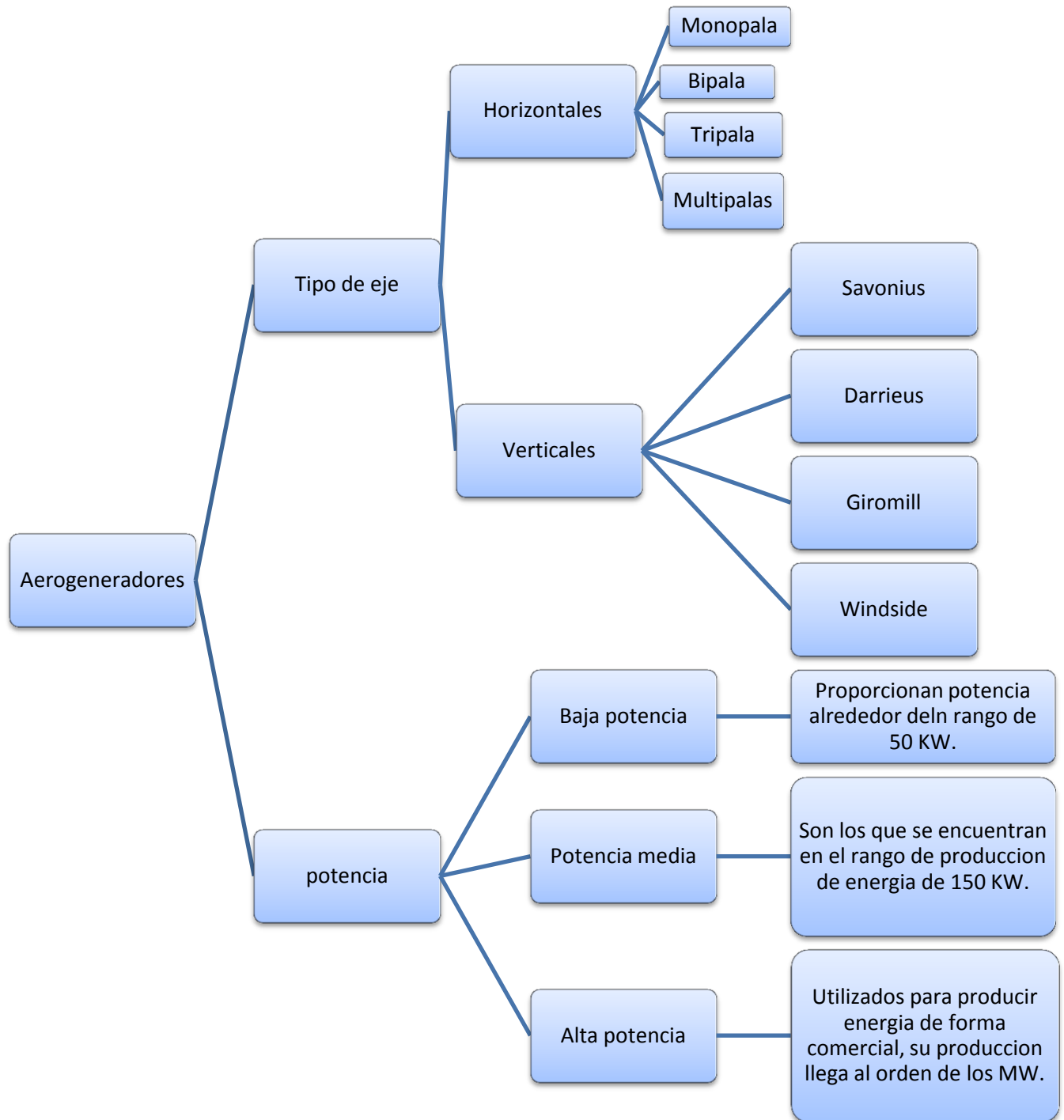
2.3.9 Veleta y el anemómetro

La veleta es un instrumento que se coloca en la cima de la góndola, la cual indica cual es la dirección del viento, esta información permite a la góndola ponerse a barlovento.

El anemómetro es un instrumento que de igual manera se colocó en la cima de la góndola, este aparato mide cual es la velocidad del viento, esta información es utilizada para la caja de cambios.

2.4 Tipos de aerogeneradores

Los aerogeneradores se dividen varios tipos diferentes, solo hablaremos de 3 los más comunes, el primero de ellos los aerogeneradores de eje vertical, los segundos los aerogeneradores de eje horizontal, y los terceros por potencia suministrada.



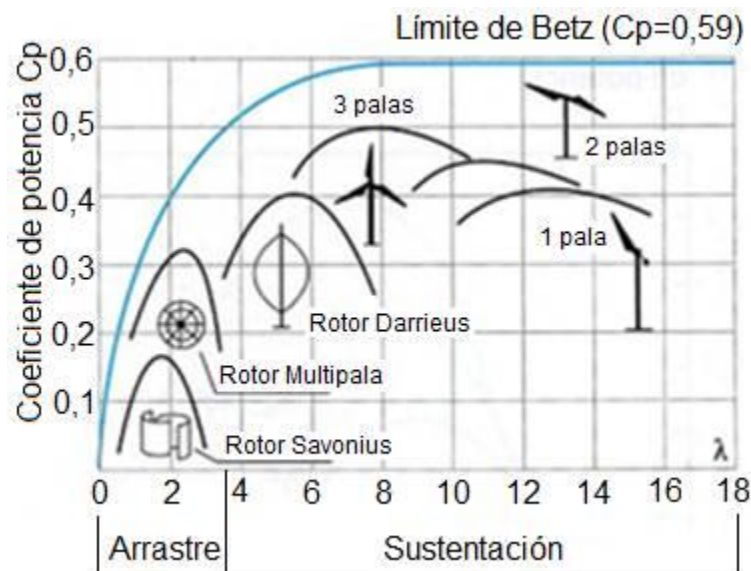
Por la carga instalada en nuestro sistema aislado, requerimos un aerogenerador del tipo de potencia baja, lo siguiente será selecciones de qué tipo de eje será el adecuado.

Ventajas de los de eje vertical sobre los de eje horizontal:

- El diseño es más simple, de menor costo de construcción y mantenimiento
- El rotor no está sujeto a cargas cíclicas gravedad y que reduce los costos del material
- Debido a su forma no requiere de la cola o veleta para orientar las palas.

Desventajas:

- Estas turbinas operan con una eficiencia menor y velocidades bajas
- Mayor dificultad para controlarlas durante vientos fuertes
- Para algunos tipos de turbinas se puede requerir de un motor para realizar el auto arranque



2.9 Eficiencias de los tipos de aerogeneradores

Contemplando las desventajas de los generadores de eje vertical y observando en la imagen anterior, los coeficientes con los que trabajan los aerogeneradores, aun que representa un costo mayor, el tripala sería el aerogenerador adecuado para la implementación en nuestro sistema aislado.

Tabla 1. Eficiencias de aerogeneradores

Aerogeneradores	Eficiencia
Savonius	0.15 a 0.25
Darrieus	0.20 a 0.35
Giromill	0.20 a 0.30
Windesaide	0.3 A 0.35
1 Pala	0.3 a 0.4
2 Palas	0.4 a 0.5
3 Palas	0.5 a 0,6

En base a la tabla anterior podemos notar que los aerogeneradores del tipo tripala son los que presentan una mayor eficiencia, es por esto que este factor influye en que sea este tipo de aerogenerador sea el que más se emplea actualmente para proyectos, parque eólicos y otro tipo de áreas donde se requiera este tipo de generación de energía.

2.5 Orientación del aerogenerador

Orientadas a barlovento:

Cuando el rotor se encuentra enfocado de frente a la dirección del viento dominante, consigue un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento que en la opción contraria o sotavento, pero necesita un mecanismo de orientación hacia el viento. Es el caso inmensamente preferido para el diseño actual de aerogeneradores.

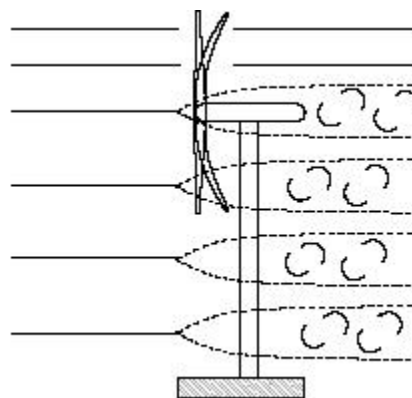


Fig. 2.10 Aerogenerador con viento a Barlovento.

Orientadas a sotavento:

Cuando el rotor se encuentra enfocado en sentido contrario a la dirección del viento dominante, la estructura de la torre y la góndola disminuye el aprovechamiento del viento por el rotor, en este caso el viento es el que orienta con su propia fuerza a la góndola, por lo que no son necesarios elementos de reorientación automatizada en la teoría, aunque si suelen utilizarse como elemento de seguridad. Las palas y la góndola son construidos con una mayor flexibilidad que en el caso de orientadas a barlovento.

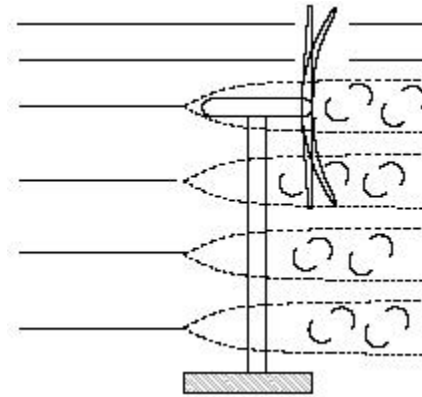


Fig. 2.11 Aerogenerador con viento a Sotavento.



CAPÍTULO

III

GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

3.1 Introducción

Los sistemas fotovoltaicos son una parte importante de nuestras vidas. Sistemas fotovoltaicos simples alimentan muchos artículos de bajo consumo, como calculadoras y relojes de mano. Sistemas más sofisticados alimentan satélites de comunicaciones y bombas de agua, y también aparatos eléctricos y luces en casas y lugares de trabajo. Los sistemas fotovoltaicos son una fuente de energía renovable que puede instalarse fácilmente, incluso en casas ya construidas.

3.2 Generalidades de la energía solar.

El Sol es una fuente de energía abundante y disponible durante mucho tiempo. Antes de ver cómo funciona un sistema FV conoceremos a nuestra fuente de energía: el sol.

El sol es una estrella que forma parte del sistema solar, ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.



Fig. 3.1 Sistema solar.

Su energía se manifiesta principalmente en forma de luz y calor, a esta energía se le llama radiación solar, y puede aprovecharse directamente, o bien ser convertida en otras formas útiles como, por ejemplo: en electricidad.

3.2.1 La radiación solar.

Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, por efecto de un proceso interno llamado fisión nuclear, una pequeña porción de estas radiaciones llega hasta la tierra. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el Wh/m^2 (watt-hora por metro cuadrado).

3.2.2 Algunos factores que causan variaciones de la radiación solar

Movimiento de rotación y movimiento de traslación, el primero es el movimiento que la tierra realiza sobre su propio eje y da origen al día y la noche, el segundo es el movimiento que la tierra describe alrededor del sol como se muestra en la fig. 3.2 este dura 365 días y da origen a las estaciones del año.

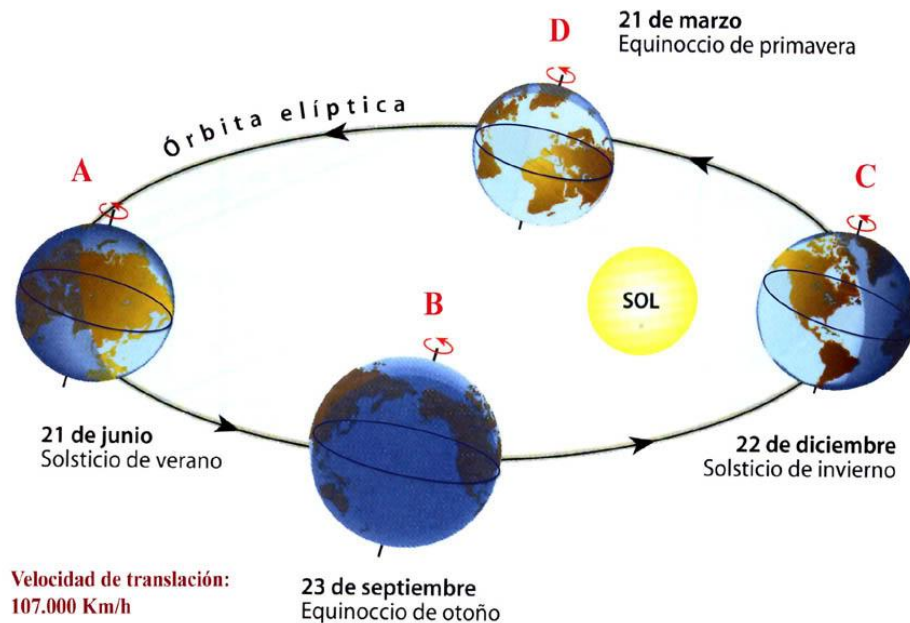


Fig. 3.2. Movimientos de la tierra alrededor del sol.

Por lo anterior la irradiación solar sobre la tierra varía de acuerdo a la estación del año y el lugar donde nos encontremos.

Es importante señalar que la época con más horas luz sobre la tierra es en verano cuando el sol alcanza su altura máxima en el horizonte y menos horas luz durante el invierno cuando el sol alcanza su menor altura como se observa en la fig. 3.3.

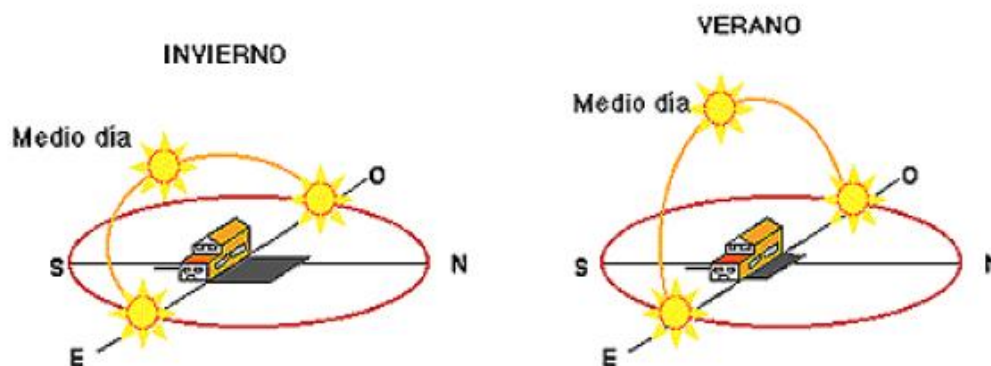


Fig. 3.3 Movimiento del sol observado desde la tierra.

3.2.3 Irradiación solar en México

México cuenta con una posición privilegiada en el globo terráqueo, lo que lo convierte en uno de los territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con un índice de 5 kWh/m² promedio por día, aunque en algunos lugares se llega casi al doble como por ejemplo el estado de Sonora donde alcanzamos 7 a 8 kWh/m² por día (dependiendo la época del año) en promedio anual, igual en los estados de Baja California, Chihuahua, norte de Durango, Coahuila, norte de Zacatecas, el oeste de San Luis Potosí, el suroeste de Oaxaca, el este de Jalisco, el norte de Guanajuato y el sur de Puebla (mapa 3.4).

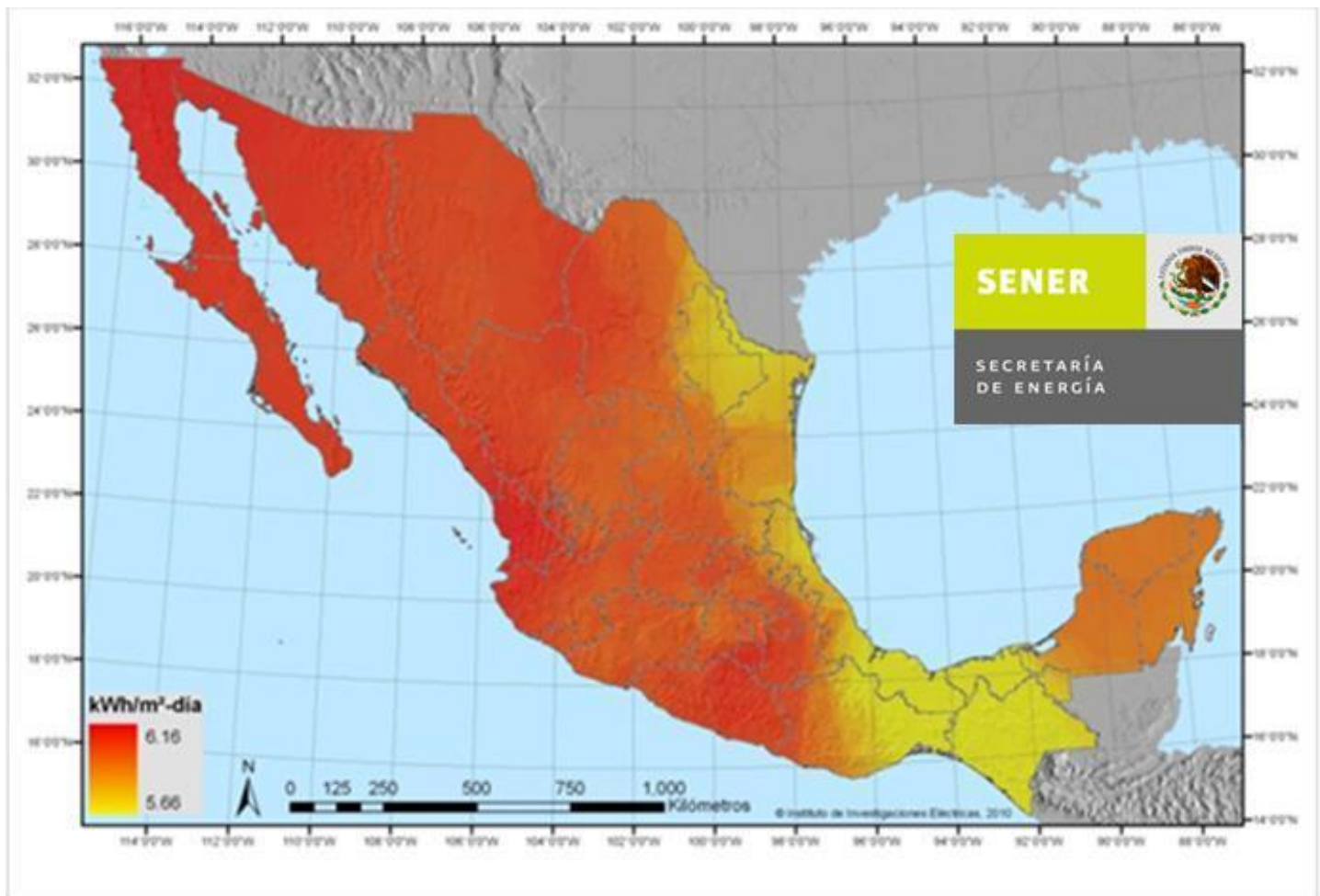


Fig. 3.4. Irradiación solar global diaria promedio anual en el territorio nacional (kWh/m²)

En el Distrito Federal, la contaminación del automóvil y de la industria es tan alta que impide que pasen una parte de los rayos solares; la Insolación Normal Directa del D.F. es sólo de 3.5kWh/m² por día.

El potencial de Sonora rebasa al de los líderes en captación de energía solar, como España y Alemania. Según datos del Sistema Geográfico de Información Fotovoltaica de la Comisión Europea, Sevilla recibe una insolación de 4.7 kWh/m² al día, mientras que Leipzig, Alemania (donde se encuentra una de las plantas solares más importantes del mundo), recibe 2.7 kWh/m² al día. No hay vuelta de hoja: Sonora los supera con 1.3 y 3.3 kWh/m² al día, respectivamente. Y esta ventaja numérica viene acompañada de la ventaja operativa que se deriva de la duración del día, porque mientras que la mayoría de las ciudades alemanas reciben 4 horas diarias de insolación en promedio, Sonora tiene de 7 a 8 horas al día, de marzo a octubre.

3.3 Descripción general de un sistema fotovoltaico.

Los sistemas fotovoltaicos convierten la luz solar directamente en electricidad, mediante el uso de lo que es conocido como “células solares”. Una célula solar está hecha de material semiconductor dispuesto en dos capas: P y N (ver figura 3.5). Cuando la radiación del sol incide en la célula fotovoltaica en forma de luz solar, la línea de separación entre P y N actúa como un diodo. Los fotones con suficiente energía que inciden en la célula provocan que los electrones pasen de la capa P a la capa N. Un exceso de electrones se acumula en el lado N mientras que en el lado P se produce un déficit. La diferencia entre la cantidad de electrones es la diferencia de potencial o voltaje, que puede ser usado como una fuente de energía. Con tal de que la luz siga incidiendo en el panel, la diferencia de potencial se mantiene, incluso en días nublados, debido a la radiación difusa de luz.

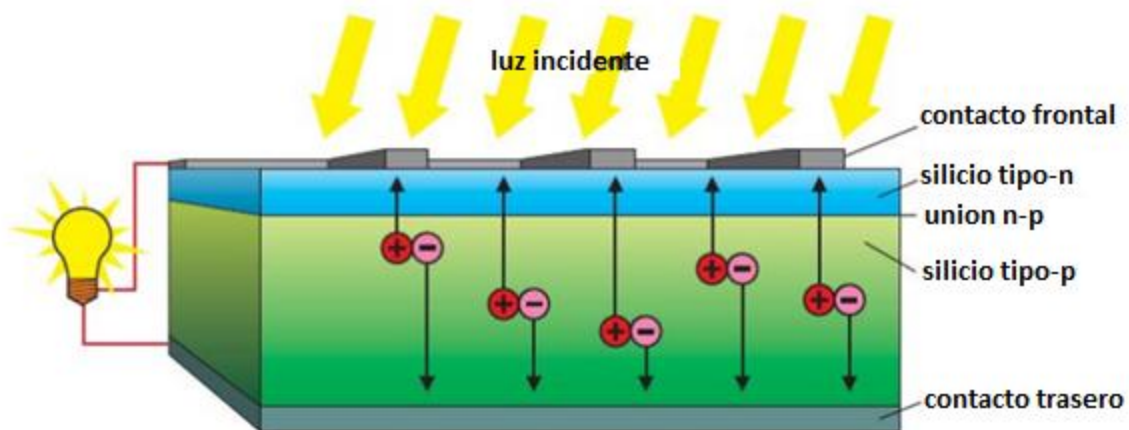


Fig. 3.5 Vista general esquemática del proceso en una célula fotovoltaica.

La cantidad de energía eléctrica que un sistema fotovoltaico produce depende principalmente de dos factores:

- La cantidad de luz solar incidente;
- La eficiencia del sistema fotovoltaico para convertir esa luz en electricidad.

El rendimiento de un panel está especificado conforme a las **normas mexicanas NMX-J-643-ANCE** e internacionales, principalmente la **IEC 61215**. Las condiciones de ensayo son para una potencia luminosa de 1 KW/m², y una temperatura de la célula de 25°C. La eficiencia de una placa fotovoltaica de silicio cristalino disminuye un 0,5 % por cada grado Celsius por encima de la temperatura estándar de 25°C. Se requiere una ventilación adecuada en la parte trasera de los módulos. A la hora de determinar el emplazamiento de los módulos, la exposición al viento u otras corrientes de refrigeración es una consideración importante. Los especialistas en el campo de la energía fotovoltaica no expresan la potencia instalada de un sistema en watts (W), sino en watts-pico (Wp) que es la potencia máxima del panel, o conjunto de paneles, que puede generar cuando la irradiación es máxima.

Los sistemas fotovoltaicos también incluyen una batería de reserva o un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) para hacer funcionar los circuitos seleccionados en la residencia durante horas o durante días ante cortes en la red.

3.4 Tecnología Fotovoltaica.

Un sistema fotovoltaico sin conexión a la red, también llamado autónomo, aislado o en isla, se compone de cuatro componentes principales: paneles solares, el inversor, controlador y batería o conjunto de las mismas. Este sistema se muestra en la fig. 3.6.

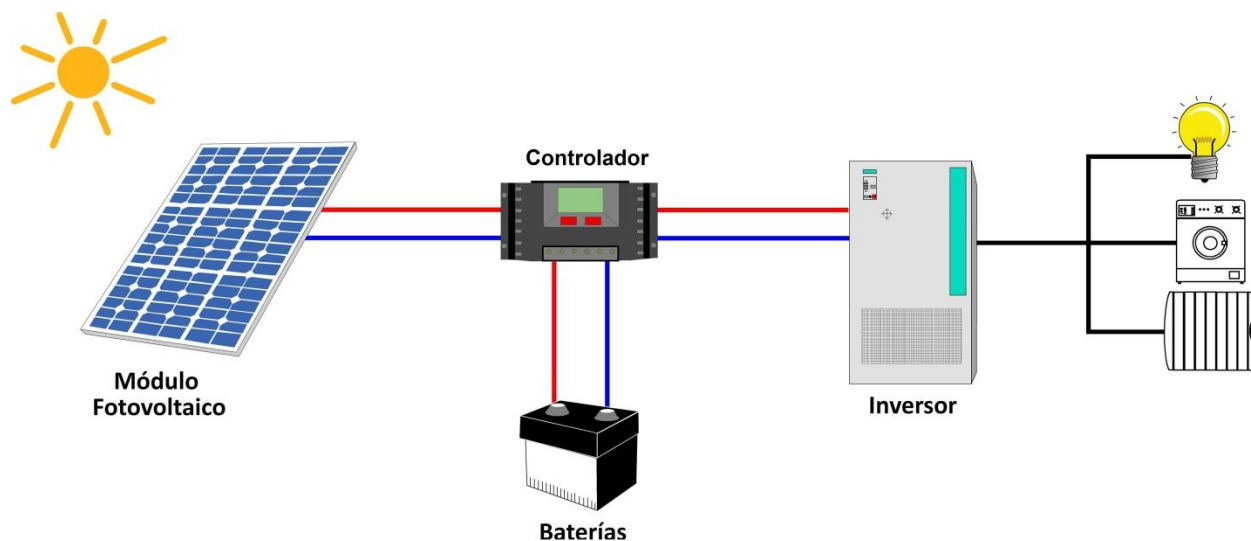


Fig. 3.6 Descripción general de un sistema FV aislado.

Para un sistema fotovoltaico conectado a la red no se cuenta con baterías, en cambio se coloca un medidor bidireccional, que tiene la función de cuantificar la energía consumida de la red y, cuando el sistema tiene excedentes, la energía entregada a la red, con esto se tiene la diferencia de estos dos parámetros para la facturación por parte de la compañía suministradora. Este sistema se ilustra en la fig. 3.7.

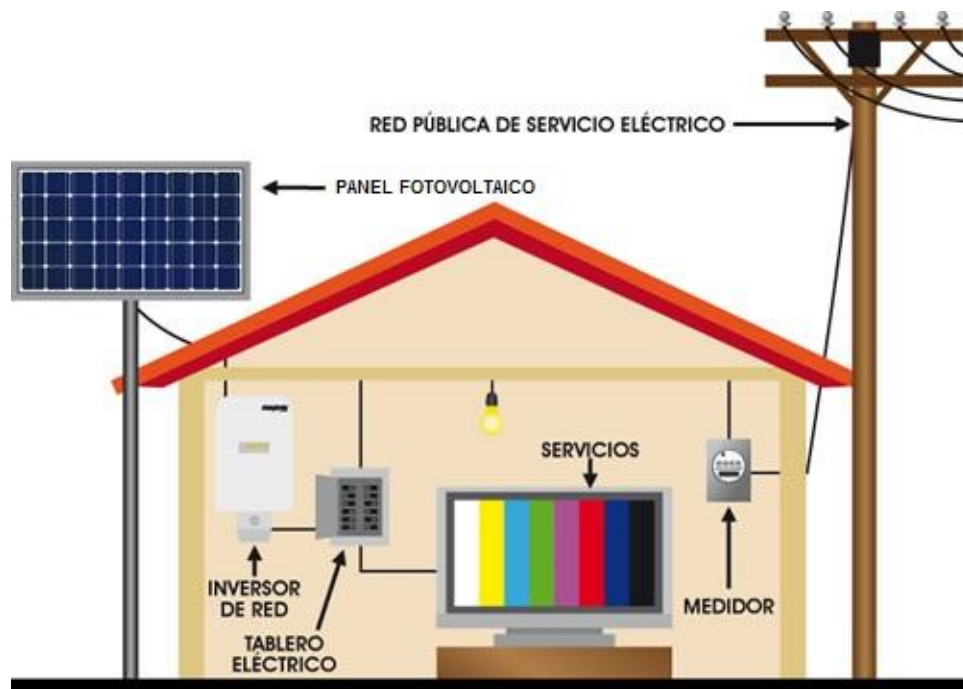


Fig. 3.7 Sistema FV conectado a la red

3.4.1 Células fotovoltaicas



Fig. 3.8 Célula fotovoltaica

Normalmente, las células fotovoltaicas se fabrican a partir de silicio monocristalino o policristalino. La eficiencia de las células monocristalinas es significativamente mayor que aquellas de silicio multicristalino o policristalino. El silicio monocristalino se produce a partir de lingotes de un único cristal, mientras que la fabricación del multicristalino comienza con la fusión del material, seguida de un proceso de solidificación con una determinada orientación de la estructura cristalina, lo que da lugar a bloques multicristalinos.

Tabla 1. Tecnología para células FV

Tecnología	Película delgada		Oblea cristalina	
	Silicio amorfo	Diseleniuro de Indio y Cobre (CIS)	Multicristalina	Monocristalina
Eficiencia del módulo	6-7%	10-11%	12-14%	13-15%
Área requerida por kWp	15 m ²	10 m ²	8 m ²	7 m ²

Para fabricar células FV, los lingotes de silicio o los bloques son cortados en delgadas láminas. Típicamente, las células cristalinas miden 10x10 o 12.5x12.5 cm². El color de una célula de silicio multicristalina es el llamado “Steel blue” (un tono de azul que parece de acero), mientras que el silicio monocristalino es de color antracita. Encima de las células, se instala una pantalla de conductores de aluminio.

3.4.2 Paneles fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico es la unidad básica de construcción de cualquier sistema fotovoltaico. Un módulo fotovoltaico consiste en células interconectadas entre si y selladas con un recubrimiento de vidrio y un respaldo impermeable. Los módulos se construyen con marcos adecuados para su posterior montaje. Un módulo fotovoltaico contiene entre 48 y 72 células conectadas en serie; los módulos típicos son 0,8 x 1,2 m y 0,8 x 1,6 m, que corresponde aproximadamente desde 80 a 150 Wp, y la media de peso de un módulo FV es de aproximadamente 12 Kg/m². Dos o más módulos pueden ser pre-cableados juntos para instalarse como una unidad llamada panel solar o panel fotovoltaico. Se pueden añadir paneles según se incremente la necesidad de producción de energía eléctrica.

3.5 Inversor

Las células fotovoltaicas y módulos generan corriente continua (CC). Dado que la mayoría de los electrodomésticos usan corriente alterna (CA), el inversor se usa para convertir la corriente continua en alterna, adecuando también la frecuencia y la tensión a la red local, 60 Hz y 127 V respectivamente.

Actualmente, la práctica común es instalar un inversor por cada línea de módulos, o incluso dotar a cada módulo de su propio inversor. Para reducir las pérdidas entre los paneles y el inversor, se recomienda que éste se sitúe lo más cerca posible de los paneles fotovoltaicos. Además, asegurarse de que dicho inversor está suficientemente refrigerado y no lo exponga a la luz solar directa.

En los **sistemas aislados**, “la red”, está generada por los inversores, por lo que, en el caso de tener cargas inductivas, éste, debe tener la capacidad de entregar potencia reactiva al sistema, en tanto en cuanto no coloquemos equipos de mejora del factor de potencia (bancos de capacitores).

En principio, los inversores FV para instalaciones aisladas, disponen de la capacidad para suministrar potencia reactiva, cuyo límite viene impuesto por la máxima intensidad que puede soportar la **electrónica de potencia** del equipo. Siempre y cuando el valor absoluto de la intensidad máxima admitida por la electrónica de potencia no se supere, el ángulo de fase del vector intensidad puede ser modificado según las condiciones del sistema.

Cuándo se esté diseñando el sistema de potencia para alimentar la mini-red eléctrica, es de suma importancia conocer el factor de potencia de la red de distribución, con objeto de calcular la potencia aparente de los inversores, medida ésta en kVA. En realidad, a medida que un inversor va trabajando con cosenos de phi inferiores a 1, su rendimiento decrece considerablemente, como se puede observar en la figura 3.9 de un inversor cuya potencia aparente es de 1200VA.

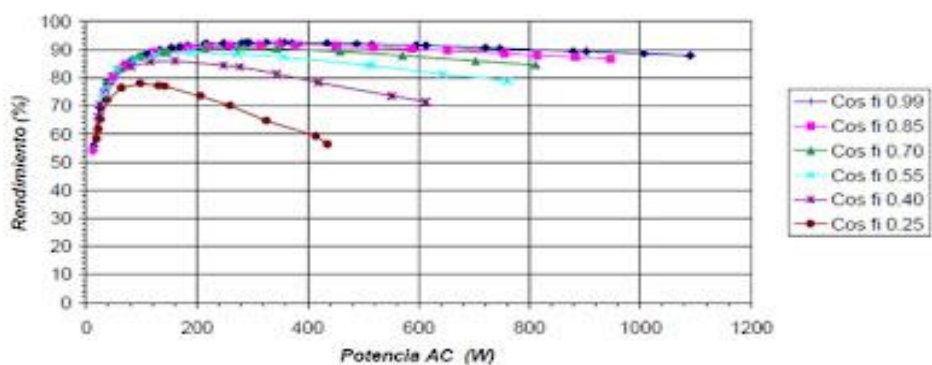


Figura 3.9. Rendimiento de inversor

Paralelamente con la disminución del factor de potencia, también se incrementa la distorsión armónica total, lo que empeora la calidad de la onda senoidal generada. Como muestra, la figura 3.10 representa las formas de onda de la tensión y la intensidad para un factor de potencia de 0,55 y una potencia del 50% (600W) del inversor anterior.

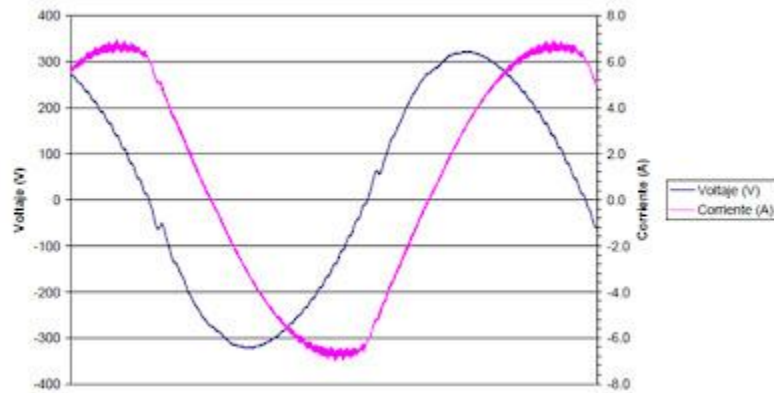


Figura 3.10. Formas de onda de tensión y corriente

Si bien, ciertos inversores fotovoltaicos son capaces de generar potencia reactiva, no es conveniente que el factor de potencia en el que trabaje baje de 0,9, no solo por la reducción de la eficiencia, sino porque se acorta también la vida útil de la electrónica de potencia, sobre todo si el equipo está trabajando prácticamente la mayor parte de su funcionamiento por debajo de este umbral.

3.6 Controlador.

Para garantizar que el sistema fotovoltaico esté funcionado correctamente, se instala un regulador o controlador del sistema que evita la sobrecarga y la descarga profunda de las baterías.

El controlador mide el voltaje de las baterías, si observa un voltaje elevado reduce o corta la corriente suministrada por el panel para evitar la sobrecarga. En cambio si observa un bajo voltaje, desconecta las cargas necesarias y así evita la descarga profunda.

3.7 Baterías

Los sistemas FV con baterías de almacenamiento están especialmente indicados en zonas donde no hay oferta de suministro eléctrico disponible o bien éste no es fiable. La capacidad de almacenar la energía eléctrica generada por el sistema FV, lo hace una fuente de energía fiable ya sea de día o de noche, llueva o haga sol. Los sistemas FV con baterías pueden ser diseñados para alimentar equipos que utilicen corriente continua o alterna. Las personas que usan equipos convencionales de corriente alterna,

deben añadir un regulador entre las baterías y la carga. Los sistemas FV con baterías de almacenamiento se utilizan en todo el mundo para suministrar electricidad a luces, sensores, aparatos de grabación, interruptores, electrodomésticos, teléfonos y televisores.

3.8 Instalación.

Los módulos fotovoltaicos pueden ser integrados en materiales para techar o montados en el suelo o sobre barras. Independientemente del montaje, la estructura debe ser estable y duradera, y ser capaz de soportar los módulos y resistir el viento, lluvia, granizo y otras condiciones exteriores.



Fig. 3.11 Integración en edificios

Las aplicaciones de los sistemas FV en el mundo de la construcción, así como en instalaciones en el suelo, son múltiples y cada una requiere un tipo específico de integración o estructura de soporte. Se ha desarrollado una amplia gama de productos para la instalación de módulos FV. Particularmente, en el mundo de la construcción, las estructuras de montaje y soporte son diseñadas de tal manera que el sistema FV esté totalmente integrado en el edificio y contribuya a su estética y valor arquitectónico. Hay disponibles estructuras de apoyo de sistemas FV para fachadas, techos inclinados, techos planos, y hay también “tejas FV”, que pueden utilizarse en sustitución de las tejas tradicionales. A menudo, el sitio más adecuado para colocar un conjunto FV es el tejado de un edificio. El conjunto FV se puede montar por encima y en paralelo a la superficie del tejado y con una separación de varios centímetros para la refrigeración. En algunos casos, como en los techos planos, se monta una estructura separada en el tejado con un ángulo más cercano al óptimo. Cuando se considera una instalación FV montada en el tejado, debe prestarse atención al revestimiento del tejado.



Fig. 3.12 FV en un tejado inclinado y en fachada

3.9 Funcionamiento y mantenimiento.

Para un buen funcionamiento y durabilidad del mismo se debe considerar utilizar artefactos y aparatos de consumo aptos para un sistema fotovoltaico. La luminaria puede ser por ejemplo a base de leds o lámparas fluorescentes

El mantenimiento de un sistema fotovoltaico es simple y no requiere un gran mantenimiento ya que no tienen partes móviles que puedan desgastarse, estropearse o que tengan que ser reemplazadas. Dependiendo de la cantidad de suciedad y polvo acumulada, los paneles solares deber ser limpiados anualmente (en la mayoría del país, la cantidad de precipitaciones anuales es suficiente para limpiar la suciedad y el polvo de los paneles solares). También se debe garantizar que el sistema se mantenga libre de sombra durante su vida útil; el crecimiento de árboles y la construcción de nuevas casas, por ejemplo, pueden dar lugar a que el sistema FV quede sombreado.

Las baterías de estos sistemas sí requieren de un mantenimiento. Las baterías usadas son similares a las baterías de los coches, pero están diseñadas de modo diferente para permitir que la mayoría de su carga sea usada cada día. Las baterías diseñadas para proyectos FV plantean los mismos riesgos y demandan las mismas precauciones en el manejo y almacenamiento que las baterías de automóvil. No deben ser expuestas a un clima extremadamente frío y el fluido en baterías no selladas debe ser comprobado periódicamente.



CAPÍTULO IV

**DETERMINACIÓN DE LAS
CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA,
LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y LA
OPERACIÓN**

4.1 Cálculo de la carga por casa:

Contemplando un conjunto de viviendas de 10 casas, donde cada una tiene los siguientes elementos, en la siguiente tabla suponemos algunos dispositivos con los que cuenta cada vivienda:

Tabla 1. Cargas por casa.

Elemento	Cantidad	Carga (watts)	Total	Tiempo (horas)	Uso por días a la semana	Whprom/Semana	Whprom/día
Iluminación (LED)	10	11	110	4	7	3080	440
Refrigerador	1	120	120	9	7	7560	1080
Horno de microondas	1	900	900	0.1	7	630	90
Lavadora	1	1200	1200	5	1	6000	857
Televisor	1	130	130	5	7	4550	650
Reproductor DVD	1	40	40	2	3	240	34
Computadora LAPTOP	1	40	40	8	5	1600	229
Bomba de agua ½ hp	1	373	373	0.5	7	1306	187
Carga adicional	1	400	400	2	7	5600	800
		Potencia	3313		Energía	30566	4367

Para saber la potencia de cada carga es necesario únicamente ver los datos que se encuentran en sus etiquetas o placas de datos. Para obtener el total de Watts (W) se realiza la multiplicación del número de unidades de cada dispositivo por la potencia nominal de dicho dispositivo.

$$W_{total} = (No. de unidades)(W_{nominal} dispositivo)$$

Para la determinación de la potencia total instalada realizamos la sumatoria de la potencia total por dispositivo(s). Como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Potencia_{inst} = \sum_{i=1}^{i=n} W_{total}$$

Se hace un aproximado de las horas diarias promedio que es utilizado un dispositivo normalmente en la vida diaria; así como también el número de días promedio que es utilizado dicho dispositivo en el transcurso de una semana.

Después de haber obtenido la potencia instalada de nuestra carga, determinamos la energía promedio que consume nuestra carga ya sea por semana o por día, aunque cabe resaltar que el cálculo de energía a utilizar es el de energía promedio por día, ya que en base a ello podemos saber si nuestros sistemas de generación se encuentran correctamente dimensionados. Dichos cálculos fueron obtenidos de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

Energía promedio por semana:

$$kWh_{prom}/semana = (W_{total})(hrs_{prom})(días_{prom})$$

Energía promedio por día:

$$kWh_{prom}/día = \frac{kWh_{prom}/semana}{días_{prom}}$$

Una vez que realizamos estos cálculos para la determinación de nuestra carga, considerando un factor de coincidencia del 100% obtenemos en resumen los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultados de cálculos de cargas.

Tipo de carga	Potencia instalada (kW)	Energía promedio semana (kWh/semana)	Energía promedio día (kWh/día)
Una vivienda	3.313	30.566	4.367
Conjunto de viviendas (10)	33.13	305.66	43.67

Ahora podemos dimensionar en base estos resultados nuestros sistemas de generación y de respaldo ó emergencia, para los cuáles se considera un factor de demanda del



100% para cada sistema, es decir que cada uno debe ser capaz de poder alimentar el 100% de la carga instalada.

4.2 Cálculos del aerogenerador.

Antes de empezar con los cálculos, hay que especificar la zona de México de donde tomaremos los datos de velocidad de viento, en este caso es del ISTMO DE TEHUANTEPEC, OAXACA MEXICO.

La velocidad del viento en esa zona es de 6.1 a 8.4, donde obtendremos una velocidad promedio como dato.

$$V_{prom.} = \frac{6.1 + 8.4}{2} = 7.3 \text{ m/s}$$

Considerando la demanda máxima por día que es de $43.67 \text{ kWh}_{prom}/\text{día}$ se selecciona un aerogenerador que pueda suministrar esa energía a la carga instalada.

Seleccionamos un aerogenerador del tipo tripala con una capacidad de 6 kW y un diámetro de 4 m. en base a esto aplicamos la fórmula descrita en el capítulo número dos.

$$P = (0.49D^2V^3)(C_p)(\eta)$$

$$P = \left(0.49 * 4 \text{ m}^2 * 7.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}^3\right) (0.592)(0.5)$$

$$P = 0.903 \text{ kW}$$

Recordemos que por ser sistemas de generación eléctrica basados en las condiciones meteorológicas debemos considerar los casos críticos, que en este caso sería tener pocas horas de viento al día con un promedio de 5 horas de viento durante todo el día repartidas principalmente en horarios vespertinos y matutinos.



Es en base a esto que nuestro aerogenerador seleccionado generaría la siguiente cantidad de energía promedio durante el día, consideremos la siguiente ecuación.

$$\varepsilon = P_{aerogenerador} (hrs_{prom} viento / día)$$

$$\varepsilon = 0.903 \text{ kW} (5 hrs_{prom} viento / día)$$

$$\varepsilon = 4.514 \text{ kWh}_{prom} / día$$

4.3 Calculo del sistema fotovoltaico.

Con la carga calculada y la energía promedio que demanda anteriormente, se procede a calcular cada uno de los elementos que compondrán el sistema de generación fotovoltaica.

4.3.1 Datos del lugar y parámetros a utilizar.

El lugar considerado será el estado de Oaxaca donde los niveles de irradiación solar van de 5 a 7 kWh/m², además que es de los estados con poblados que carecen de servicio eléctrico.

El nivel de tensión considerando que los paneles de acuerdo a catálogos, los cuales operan a 12, 24 y 30 volts, pudiendo hacer arreglos en serie y paralelo para obtener el nivel de tensión deseado y la potencia requerida, así como a la igualdad de potencia, a mayor voltaje, se tiene menor corriente, y con esto los conductores disminuyen sus dimensiones y también las pérdidas son menores consideraremos una tensión de 60 volts para dicho sistema.

De la carga instalada y la energía que demanda determinada anteriormente:

$$Demanda = 43.67 \text{ kWh/día}$$

4.2.2 Baterías.

Para el cálculo de las baterías se tiene:

$$\text{Amperes hora prom/día} = \frac{\text{Energía prom C. A. día (Wh)}}{\text{Voltaje del sistema} \cdot \eta_{inv}}$$



Dónde:

$$\eta_{inv} = \text{Eficiencia del inversor} = 0.95$$

$$\text{Amperes hora prom/día} = \frac{43.67 \frac{kWh}{día}}{\frac{0.95}{60 V}} = 766.14$$

$$CB = \frac{\text{energía total} \times \text{días de autonomía}}{\text{potencia de descarga máxima} \times \text{tensión del sistema}}$$

$$CB = \frac{43.67 \times 1}{0.3 \times 60}$$

$$CB = 2.43 \text{ kAh}$$

Para este sistema se utilizarán baterías de 12 volts, 150 Ah, y 1 día de autonomía, por lo que se requerirán 5 baterías conectadas en serie que conforman los 60 volts del sistema, manteniendo la misma corriente para cada rama. Para el número de baterías en paralelo se utiliza la siguiente fórmula:

$$B_{paralelo} = \frac{CB}{C_{batería}}$$

$$B_{paralelo} = \frac{2.43 \text{ kAh}}{150 \text{ Ah}} = 16 \text{ ramas en paralelo}$$

Para calcular el número total de baterías que conformarán el banco de baterías empleamos la siguiente ecuación.

$$Baterías_{totales} = \text{ramas en paralelo} \times \text{baterías en serie}$$

$$Baterías_{totales} = 16 \text{ ramas} \times 5 \text{ baterías} = 80 \text{ baterías}$$

La energía que puede entregar este banco de baterías promedio por día es la que se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\varepsilon = V_{sistema} (C_{batería} \times \text{ramas en paralelo})$$

$$\varepsilon = 60 V(150 Ah \times 16 ramas) = 144 kWh$$

Nota: se considera una profundidad de descarga para las baterías del 70% por lo que la energía que se aprovecha es de 43.2 kWh, que soporta un día de autonomía.

4.2.3 Determinación del arreglo fotovoltaico.

Para determinar las dimensiones del arreglo se debe calcular primero la corriente total pico para el arreglo, como se indica a continuación:

$$I_{PICO\ ARREGLO} = \frac{\text{Amperes hora promedio/día}}{\eta_B \times HSP}$$

Dónde:

$$\text{Amperes hora promedio/día} = \frac{\text{Energía promedio (Wh)}}{\eta_{inv} \times \text{Voltaje del sistema}}$$

$$\eta_B = \text{Eficiencia de las baterías (generalmente 0.8)}$$

$$HSP = \text{Horas solar pico}$$

(4.5 Para el sitio seleccionado en situación crítica, invierno)

$$\eta_{inv} = \text{Eficiencia del inversor (0.95)}$$

$$I_{PICO\ ARREGLO} = \frac{766.14}{0.8 \times 4.5} = 212.82 A$$

De acuerdo al fabricante para módulos de 30 V, 250 W, $I_{pico\ módulo} = 8.07 A$, y la corriente de corto circuito, $I_{cc\ módulo} = 8.62 A$, por lo tanto el número de módulos en paralelo será:

$$\text{No de módulos en paralelo} = \frac{I_{PICO\ ARREGLO}}{I_{pico\ módulo}} = \frac{212.82}{8.07} = 26$$

El número de módulos en serie:

$$\text{No de módulos en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema en C.D.}}{\text{Voltaje nominal modulo}} = \frac{60}{30} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{No total de módulos} &= \text{No de módulos en paralelo} \times \text{No de módulos en serie} \\ \text{No total de módulos} &= 26 \times 2 = \mathbf{52} \end{aligned}$$

Energía entregada por el arreglo de paneles, en base a la ecuación siguiente:

$$\varepsilon = \eta_{\text{sistema fotovoltaico}} \times P_{\text{nominal módulo}} \times \text{módulos} \times HSP$$

$$\varepsilon = 0.8 \times 250 \text{ W} \times 52 \times 4.5 = 46.80 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Tabla 3. Comparación de los sistemas de generación y almacenamiento.

Sistema de generación	Potencia instalada	Valores ajustados	Energía generada kWh/día	Energía demandada kWh/día
Eólico	Capacidad: 6 kW Viento: 15 m/s	Capacidad: 0.903 kW Viento: 7.3 m/s	4.514	43.67
Fotovoltaico	Potencia inversores: 30.0 kW	Capacidad paneles: 13.0 kW Radiación: 4.5 hrs/día	46.80	
Baterías	Capacidad banco: 144 kWh Carga: 100% día	Capacidad banco: 43.2 kWh Carga: 70% 1 día	43.2	

4.3.4 Cálculo del controlador.

Para el cálculo del controlador se tiene que conocer la corriente de corto circuito del arreglo de paneles. En este caso el controlador se tiene integrado en el conjunto de inversores.

$$I_{CC\text{arreglo}} = 1.25 \times I_{CC\text{módulo}} \times \text{No de módulos en paralelo}$$

$$I_{CC\text{arreglo}} = 1.25 \times 8.62 \times 26 = 280.2 \text{ A}$$

4.3.5 Inversores.

Datos para selección del inversor a utilizar:

Voltaje nominal C.D. = 60 V

Voltaje nominal en C.A. = 220 V

Potencia de operación continua = 5.0 kW c/u

Potencia del arreglo = 6 inversores \times 5 kW = 30.0 kW

4.4 Diagrama de conexión.

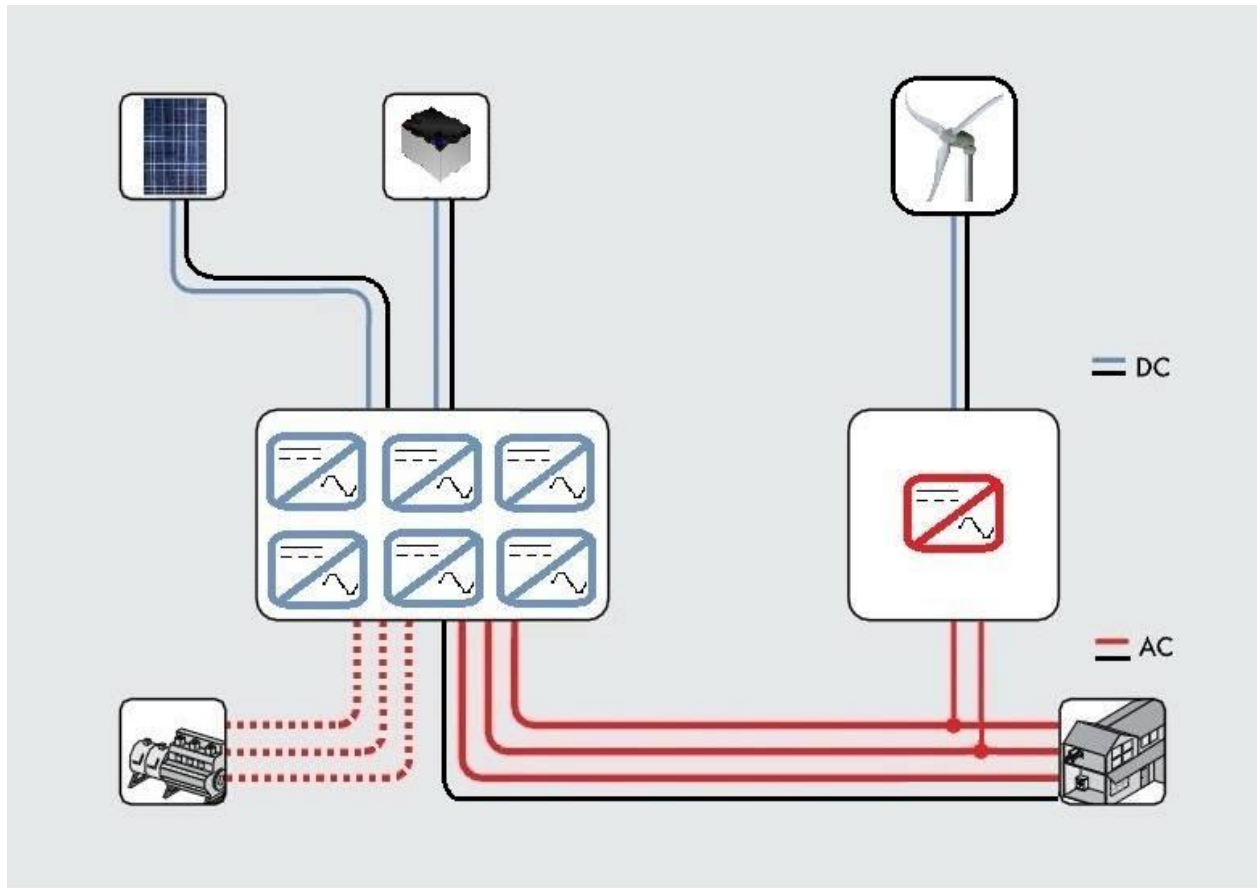


Fig. 4.1 Diagrama de conexión sistema trifásico 220/127 V.

En este diagrama unifilar se representa de manera gráfica el comportamiento de nuestro sistema así como de su conexión.

Primeramente los paneles solares captan la radiación solar con lo cual comienzan a generar energía y también al mismo tiempo cargar las baterías, al estar cargadas en su totalidad las baterías la energía pasa directamente al conjunto de seis inversores, estos realizan la función de transformar la corriente directa en corriente alterna para su utilización con equipos normales. Al no existir radiación solar los inversores toman la energía del banco de baterías y al existir radiación se carga el banco. Por la parte eólica el aerogenerador al ser movidas las aspas por el viento y alcanzar la velocidad de generación comienza a generar energía que es llevada a un inversor que realiza la misma función que los demás pero este sólo se encuentra conectado a la red en una sola de sus fases.

4.5 Aspectos económicos

Una parte importante de todo trabajo, proyecto o estudio que se realice tiene que ver directamente con los costos del mismo y la inversión que se requiere para llevarse a cabo, es por eso que en este apartado analizaremos algunos parámetros económicos, para así demostrar la fiabilidad de la propuesta.

Se consultaron distintos proveedores de materiales para la instalación del sistema, encontrando gran variedad de los mismos, con lo cual el precio total del proyecto queda de la siguiente manera.

Tabla 4. Costos de inversión del proyecto.

Producto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario en Dólares	Precio unitario en Pesos mexicanos	Precio total en Pesos mexicanos
Panel Fotovoltaico Monocristalino 250 Wp	Pza.	52	\$200.00	\$2,600.00	\$135,200.00
Batería 105 Ah; 12 VCD	Pza.	80	\$150.00	\$1,950.00	\$156,000.00
Inversor 5 KW	Pza.	6	\$5,832.00	\$75,816.00	\$454,896.00
Aerogenerador 6 KW 48 V, 3 palas con regulador digital	Pza.	1	\$19,108.00	\$248,404.00	\$248,404.00
Inversor 6 KW	Pza.	1	\$3,000.00	\$39,000.00	\$39,000.00
Combinador Combiner Box	Pza.	1	\$169.64	\$2,205.32	\$2,205.32
Conector MC4 Tipo Plug Macho y hembra.	Juego	26	\$3.62	\$47.06	\$1,223.56
Accesorios (Zapatas, taquetes, cinchos, pijas, abrazaderas tipo uña, coples, sellador, etc.)	Juego	1	\$76.92	\$1,000.00	\$1,000.00
Instalación (Estructura, Material eléctrico, Mano de obra del parque solar).	Servicio	1	\$7,487.14	\$97,332.82	\$97,332.82
Instalación (Estructura, Cableado).	Servicio	1	\$4,224.00	\$54,912.00	\$54,912.00
Instalación, Incluye regulador digital, Torre arriostada 15 mts instalada.	Servicio	1	\$5,000.00	\$65,000.00	\$65,000.00
Planta Diesel 21 KW	Pza.	0	\$7,999.00	\$103,987.00	\$0.00
Total					\$1,255,173.70*

* -Precios sin IVA

-Tipo de cambio = \$13.00

Todos los productos mencionados cumplen con las certificaciones vigentes del país, las marcas se omiten por razones comerciales, así como los proveedores de los mismos.

En la tabla anterior no se considera la planta diesel con el fin de reducir los costos del proyecto en una primer fase, ya que es recomendable que sea escalable para tomar en cuenta el crecimiento del mismo sistema y es en ese momento cuando se debe considerar la planta de emergencia diesel para obtener un respaldo total en caso de falla.

Cabe mencionar que la mayoría de proveedores ofrecen diversos tipos de descuento para sistemas de esta magnitud.

4.6 Retorno de inversión.

Para el retorno de la inversión se puede buscar la intervención del Ramo 33, el cuál es un modelo en el que el costo del proyecto se divide entre tres, los beneficiarios, la Comisión Federal de Electricidad y el gobierno. Este programa es muy útil y una opción viable para aplicar este proyecto, sabiéndose de antemano que por ser un sistema aislado el monto de la inversión se incrementa.

Otra opción para disminuir la aportación de los beneficiarios es buscar el apoyo del gobierno y también de algunas organizaciones civiles o no gubernamentales para buscar la inversión en el proyecto, así como también destinar una parte del presupuesto asignado a los programas de beneficio social y de desarrollo social.

Cabe recalcar que este proyecto está pensado y planeado para un conjunto de viviendas de sólo 10 inmuebles, es obvio que si se toma un número mayor de beneficiarios los costos disminuirían debido a que se conseguirían precios de mayoreo y la inversión se repartiría entre un número mayor de personas.

Tabla 5. Tiempo/costo del retorno de inversión.

Para 7 años				
inversión total	inversión total por usuario	Inversión anual/usuario	costo mensual por usuario	modo tripartita
\$1,255,173.70	\$125,517.37	\$17,931.05	\$1,494.25	\$498.08

Para 6 años				
inversión total	inversión total por usuario	Inversión anual/usuario	costo mensual por usuario	modo tripartita
\$1,255,173.70	\$125,517.37	\$20,919.56	\$1,743.30	\$581.10

Para 5 años				
inversión total	inversión total por usuario	Inversión anual/usuario	costo mensual por usuario	modo tripartita
\$1,255,173.70	\$125,517.37	\$25,103.47	\$2,091.96	\$697.32

4.7 Contribuciones ambientales.

Con la implementación del sistema Eólico Fotovoltaico, se contribuye de manera importante al medio ambiente, ya que durante los 25 años de vida útil del sistema, se obtienen los siguientes datos:

Producción estimada:

$(18,473 \text{ kWh/año})(25 \text{ años}) = 461,826 \text{ kWh}$

Toneladas de CO₂ que se dejan de emitir:

1,520.42



Barriles de petróleo sin extraer:

272



*1 barril= 1700 kWh



Arboles apadrinados:

4561





CAPÍTULO V

GENERACIÓN HÍBRIDA UTILIZANDO PLANTA DIESEL

5 INTRODUCCIÓN

Las plantas de emergencia representan una opción muy buena ya que nos sirven para respaldar el suministro de energía eléctrica en el caso de alguna contingencia, falla, situación anormal o mantenimiento que requiera llevarse a cabo en la red principal de alimentación de algún sistema eléctrico

Existen de diversos tipos y clasificaciones de dichos dispositivos los cuales pueden mencionarse por ejemplo las plantas manuales, donde un operador directamente la conecta al sistema principal y energizando dicho sistema, las automáticas que por sí solos entran en operación y conexión al sistema, las semi-automáticas, entre otras.

Existen de diversos tipos de combustibles como el gas LP ó natural, diesel que son las más comunes al igual que la de gasolina, o las más sofisticadas que trabajan con biogas.

5.1 PLANTA DE EMERGENCIA DIESEL

Una planta de emergencia es un conjunto de motor de combustión eléctrica y un generador eléctrico, que transforma la energía térmica del combustible utilizado para el funcionamiento del motor en este caso de tipo DIESEL en energía mecánica, y esta a su vez mediante el principio de inducción electromagnética en el generador se convierte en energía eléctrica.



Fig. 5.1 Planta de emergencia diesel con enfriamiento por líquido.

COMPONENTES DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA DIESEL

La planta de emergencia diesel está constituida principal y básicamente por los siguientes elementos:

1. Motor
2. Generador
3. Tablero de mando y control
4. Sistema de apoyo
5. Sistema de combustible
6. Sistema de escape

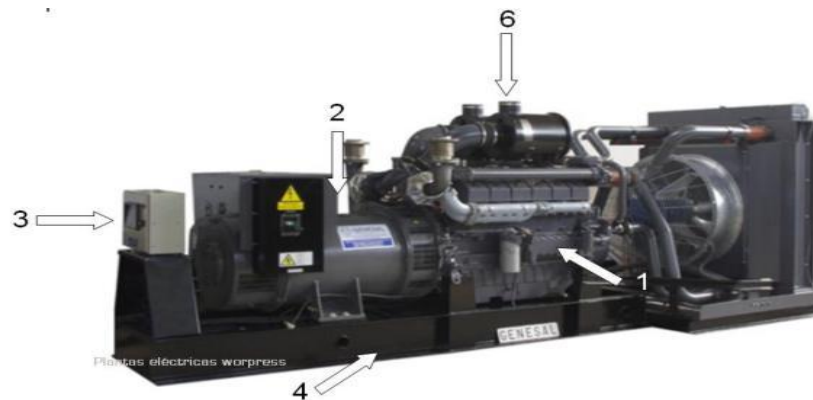


Fig. 5.2 Componentes de la planta.

Motor:

El motor es una de las dos partes principales de las plantas de emergencia, ya que proporciona la potencia necesaria para mover el generador. Dicho motor es de combustión interna de 2, 4, 6 y 8 cilindros impulsado por combustibles como la gasolina, el gas, mezcla de combustibles y/o diesel más comúnmente utilizado por dichos motores. Su tamaño y dimensiones así como su potencia deben determinarse en base a las necesidades de la carga que deba soportar.

Los sistemas de combustible y el de escape son implícitos en el motor ya que son parte de su funcionamiento y construcción.

Generador:

Este componente es el más importante de la planta ya que el generador es el encargado de generar la energía eléctrica que suministra la planta a la carga. Este componente se encuentra acoplado al volante del motor mediante discos o acoplamientos flexibles. Al igual que el motor sus dimensiones y capacidades son determinadas por la carga que debe soportar.



Tablero de mando y control:

Es el elemento que permite como su nombre lo indica controlar, poner en marcha, detener y monitorear los parámetros de la planta para poder tenerla en óptimo funcionamiento.

Sistema de apoyo:

Es el elemento o elementos que permite el acoplamiento entre el motor y el generador, es necesario que se realice dicho acoplamiento por norma con sistemas amortiguadores de vibración.

5.2 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE EMERGENCIA DIESEL

El ciclo básico de funcionamiento de una planta es básicamente el siguiente:

- Arranque del motor.
- Transferencia (cambio de red normal (N) a red de emergencia (E)).
- Retransferencia (cambio de red de emergencia (E) a red normal (N)).
- Desfogue o enfriamiento del motor.
- Paro del motor

Arranque del motor.

Cuando el sistema eléctrico presenta una interrupción en el suministro de energía eléctrica, la planta de emergencia detecta esta falla y manda el arranque del motor de combustión interna.

Transferencia.

Es cuando la planta entra en conexión a la red en el modo de emergencia para comenzar a suministrar la energía eléctrica ya que la planta haya alcanzado sus valores normales de operación. Durante el tiempo en que se tiene la interrupción en el suministro la planta alimenta la carga en su totalidad o las cargas que son de alta importancia que siempre cuenten con el suministro.

Retransferencia.

Después del tiempo en que la planta funcionó y mantuvo la carga energizada, la planta detecta el restablecimiento de energía y sale del sistema pasando el interruptor de la posición (E), indicando que está en operación de emergencia a la posición de (N), indicando que está en modo normal, fuera del sistema.



Desfogue o enfriamiento del motor.

Ya que la planta de emergencia está fuera de operación en el sistema transcurrirá un tiempo para que la temperatura del motor vaya disminuyendo paulatinamente.

Paro del motor.

Cuando este tiempo que se le dio a la planta para enfriarse el motor ya haya transcurrido entonces se manda a través de su tablero de control el paro total del motor de combustión interna.

5.3 SELECCIÓN DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA DIESEL

Como ya se mencionó con anterioridad la selección de una planta de emergencia se basa en la carga instalada principalmente, aunque también influye la autonomía y gasto de combustible de la planta, en este caso se basará la selección en la potencia instalada que es una potencia de 33.13 kW.

La planta de emergencia cuenta con dos potencias de suministro la potencia en servicio continuo y la que es en servicio de emergencia, siendo el primero el de menor valor y es mediante este tipo de servicio como se selecciona dicha planta, para garantizar que soporte adecuadamente la carga.

Para nuestro sistema por el tipo de carga que es aislada, se debe considerar una planta que soporte el 50% de la carga con una autonomía de 1 día.

Por estas necesidades se eligió una planta Diesel con las siguientes características de operación.

Tabla 1. Datos técnicos de la planta de emergencia.

Modelo	05521
kW servicio continuo	20.5 kW
Tensión	120/240 V
Corriente	145.8/72.9 A
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Factor de potencia	0.8
Consumo de combustible a plena carga	7.57 lt/hr
Capacidad del tanque	227 lts



Para que la planta tenga la capacidad de entregar la demanda que se requerirá en 1 día al 50%. Se toman los valores que ya teníamos de carga instalada.

Si el tanque cuenta con 227 lt, dividimos entre 7.57 lt, para obtener el número de horas que nos soporta el tanque.

$$t = \frac{227 \text{ lt}}{7.57 \text{ lt/hr}} = 30 \text{ hr.}$$

Por lo tanto para suministrar el 50% de la carga por 1 día se necesita llenar 1 vez el tanque de la planta.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En lo referente a los sistemas Eólicos-fotovoltaicos durante el desarrollo de la investigación, se encontró que dichos medios de generación resulta una opción viable para satisfacer el consumo de energía eléctrica para cargas aisladas, mismas que representan un gran reto para el suministro del sistema eléctrico nacional.

Las características principales hacen, de estos sistemas de energía renovable, reducir el impacto ambiental, puesto que no emiten algún tipo de desechos que puedan dañar al ecosistema en donde funcionan. Su mantenimiento se limita a tan solo una vez anualmente, lo que lo convierte en un sistema con poca inversión en este aspecto, con un rendimiento elevado y en una inversión a largo plazo, ya que los fabricantes garantizan por 25 a 30 años sus componentes principales, además que en México se tiene el potencial necesario y las condiciones climatológicas favorables para la explotación de estos medios de producción.

Una de las limitaciones es el aspecto económico, ya que al depender de factores climatológicos, su inversión aumenta considerablemente para poder satisfacer adecuadamente la demanda de energía.

En general resulta una opción suficientemente realizable con las bases sentadas en el presente trabajo considerando todos los factores que intervienen para el funcionamiento del mismo; siempre y cuando se cuente de preferencia con el apoyo económico del gobierno, organizaciones civiles y sociales; para que el beneficiario sea quién aporte menos a estas inversiones ya que por ser sistemas aislados resultan elevadas en costo.

Recomendaciones.

Como única recomendación, para la operación del sistema, se debe considerar contar con personal capacitado para evitar malos usos y un buen cuidado de los componentes, las principales fallas en estos sistemas es por intervenciones del usuario, polaridad invertida en las baterías, derivación de más circuitos no considerados en los cálculos, descargas profundas en las baterías, uso de equipos de alto consumo innecesarios como lámparas incandescentes, adaptación de componentes diferentes al sistema, conexión directa de los paneles a las baterías, etcétera.

Así también es conveniente que se proporcione capacitación a las personas beneficiadas en cuanto a la administración y ahorro de energía en sus viviendas ya que así se puede tener en condiciones óptimas el sistema, y buscar cómo ya se mencionó la participación del gobierno en sus diferentes niveles, programas sociales, organizaciones civiles y/o sociales y no gubernamentales. El ramo 33 que es un modelo tripartita también puede resultar una opción viable para implementar estos sistemas, ya que intervienen en la inversión, el usuario, el gobierno y la Comisión Federal de Electricidad.



GLOSARIO DE TERMINOS

Aerogenerador.- Dispositivo mediante el cual se puede llevar a cabo la captación de la energía eólica para transformarla en alguna otra forma de energía. Unidad constituida por un generador eléctrico unido a un aeromotor que se mueve por impulso del viento.

Almacenamiento de Energía.- Conserva Energía para ser usada posteriormente.

Arreglo Fotovoltaico.- Conjunto de paneles fotovoltaicos dispuestos para suministrar energía a una carga.

Banco de Baterías.- Conjunto de baterías dispuestas para almacenar energía en corriente directa proveniente de los paneles solares.

Baterías.- Dispositivo provisto de materiales activos que convierten directamente la energía química en energía eléctrica mediante una reacción de reducción-oxidación.

Biomasa.- Término genérico que define a la materia orgánica susceptible de utilizarse como fuente de energía.

Carga.- Cantidad de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de cualquier dispositivo o aparato eléctrico en un momento dado. También se llama carga al dispositivo eléctrico conectado o y que demandan una energía.

Celdas solares.- Dispositivo que convierte la energía solar en energía eléctrica.

Combustible.- Sustancia que mezclada con un comburente, da lugar a una combustión y libera una cantidad de energía.

Combustibles fósiles.- Combustibles finitos, integrados por hidrocarburos y provenientes del subsuelo.

Constante solar.- El valor de la radiación solar en la atmósfera exterior considerando que la Tierra estuviera a su distancia promedio del Sol.

Controlador de Carga.- Dispositivo que controla el régimen y la condición de carga de las baterías.

Corriente alterna.- (AC). Corriente eléctrica que se invierte de sentido a intervalos regulares (medio ciclo). Electricidad con cambios de voltaje periódicamente, 60 veces por segundo (50 veces en Europa). Este tipo de electricidad es más fácil de transmitir.

Corriente directa.- (DC). Corriente eléctrica que fluye en un solo sentido, el de las baterías por ejemplo.



Efecto invernadero.- Fenómeno por el cual ciertos gases retienen parte de la energía emitida por el suelo tras haber sido calentado por la radiación solar. Se produce, por lo tanto, un efecto de calentamiento similar al que ocurre en un invernadero, con una elevación de la temperatura.

Energía.- Propiedad de los cuerpos que se manifiesta por su capacidad de realizar un cambio (de posición o de cualquier otro tipo).

Energía eólica.- La energía eólica es la energía producida por el viento. Como la mayor parte de las energías renovables, la eólica tiene su origen en el sol, ya que entre el 1 y el 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento, debido al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre.

Energía hidráulica.- El aprovechamiento de la energía cinética contenida en las grandes masas de agua.

Energía nuclear.- Aprovechamiento del calor producido por la fisión nuclear.

Energías renovables.- Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. El sol está en el origen de todas ellas porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica.

El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que provoca la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa.

Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

Factor de demanda.- Es la razón entre la demanda máxima de la instalación o sistema y la carga total conectada, definida sobre un total de tiempo dado. Se entenderá por carga total conectada la suma de las potencias nominales de la instalación considerada.

Factor de planta.- El factor de planta de una central eléctrica es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período

Generación distribuida.- Producción de energía eléctrica mediante sistemas de energía renovable, o microturbinas, en el lugar de consumo (junto a la carga).

Generadores fotovoltaicos.- Arreglo de celdas solares que transforman en energía eléctrica directamente la luz solar.



Hidrocarburos.- Combustibles fósiles formados por carbono e hidrógeno (petróleo).

Insolación.- Medida de la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. De acuerdo con NREL, “este término ha sido reemplazado generalmente por la radiación solar debido a la confusión de la palabra con el aislante”.

Inversor.- Dispositivo que convierte la corriente eléctrica directa en corriente alterna.

Joule (J).- Unidad absoluta de energía.

Irradiación - Velocidad a la que la energía radiante llega a un área específica de la superficie de la Tierra durante un intervalo de tiempo específico. Se mide en W/m²

Watt.- Unidad absoluta de potencia igual a un J/s.

kW.- (Kilo watt) Unidad de potencia igual a 1000 watts.

kW-h (Kilo watt-hora).- Unidad de energía igual a utilizar 1000 watts en una hora.

LED.- Diodo emisor de luz, los leds se usan cada vez más en iluminación debido a su bajo consumo de energía.

Ley General de cambio climático.- El 6 de junio de 2012 se publicó esta ley en el Diario oficial de la Federación, la cual tiene entre sus propósitos el garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de los tres órdenes de gobierno en la elaboración y aplicación de políticas públicas en dos ejes rectores: la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.

MW (Mega watt).- Unidad de potencia igual a 1,000 kW.

Redes aisladas.- Sistemas eléctricos independientes no interconectados a una red general de energía eléctrica.

Sistemas fotovoltaicos.- Dispositivos y paneles fotovoltaicos integrados para suministrar una energía eléctrica a una carga.

Tiempo de vida de una batería.- El período de tiempo, a una temperatura especificada, que una batería se puede dejar almacenado en la condición cargada antes de que falle su capacidad. (*Vida útil de una batería*).

ÍNDICE DE FIGURAS

	Paginas
CAPÍTULO I	
Fig.1 .1 Represa de una central hidroeléctrica	20
Fig.1.2 Cuarto de máquinas de una central	21
Fig.1.3 Turbina tipo Pelton	22
Fig.1.4 Turbina tipo Kaplan	22
Fig.1.5 Proceso de generación de energía eléctrica en una Central hidroeléctrica	24
Fig.1.6 Clasificación de los yacimientos por su entalpia (H)	25
Fig.1.7 Zonas geotérmicas de México	26
Fig.1.8 Partes principales de la central geotérmica	28
Fig.1.9 Esquema del funcionamiento de la central geotérmica de Nesjavellir (Islandia)	30
Fig.1.10 Parque eólico	31
Fig.1.11 Componentes principales de un parque eólico	32
Fig.1.12 Algunas aplicaciones de energía solar	33
Fig.1.13 Partes principales de una central fotovoltaica	35
Fig.1.14 Funcionamiento de una central fotovoltaica	36
Fig.1.15 Participación de las energías renovables en el mundo en la generación de energía eléctrica.	37
Fig. 1.16 Participación de los tipos de energías renovables en la generación de energía eléctrica en México.	38
CAPÍTULO II	
Fig.2.1 Calentamiento y movimiento del aire	40
Fig.2.2 Escala de viento de Beaufort	41
Fig.2.3 Límites de Betz	44
Fig.2.4 Límites de Betz sobre la eficiencia del viento	45
Fig.2.5 Potencia del viento en México	46
Fig.2.6 Velocidad del viento en México	46
Fig.2.7 Aerogenerador	48
Fig.2.8 Partes de un aerogenerador	50
Fig.2.9 Eficiencias de los tipos de aerogeneradores	53
Fig.2.10 Aerogenerador con viento a Barlovento	54
Fig.2.11 Aerogenerador con viento a Sotavento	55



CAPÍTULO III	
Fig.3.1 Sistema solar	57
Fig.3.2 Movimiento de la tierra alrededor del sol	58
Fig.3.3 Movimiento del sol observado desde la tierra	58
Fig.3.4 Irradiación solar diaria promedio anual en el territorio nacional	59
Fig.3.5 Vista general esquemática del proceso en una célula fotovoltaica	60
Fig. 3.6 Descripción general de un sistema FV aislado.	61
Fig. 3.7 Sistema FV conectado a la red	62
Fig.3.8 Célula fotovoltaica	62
Fig.3.9 Rendimiento de inversor	64
Fig.3.10 Formas de onda de tensión y corriente	65
Fig.3.11 Integración en edificios	66
Fig.3.12 FV en un tejado inclinado y en fachada	67
CAPÍTULO IV	
Fig.4.1 Diagrama de conexión sistema trifásico 220/127 V.	76
CAPÍTULO V	
Fig.5.1 Planta de emergencia diesel con enfriamiento por líquido	78
Fig.5.2 Componentes de la planta	79



ÍNDICE DE TABLAS

	Paginas
CAPÍTULO I	
Tabla 1 Comparativo entre fuentes de energía	18
Tabla 2 Sustitución de energía convencional	18
CAPITULO II	
Tabla 1 Eficiencias de aerogeneradores	54
CAPÍTULO III	
Tabla 1 Tecnología para célula FV.	63
CAPÍTULO IV	
Tabla 1 Cargas por casa	68
Tabla 2 Resultados de los cálculos de cargas	69
Tabla 3 Comparación de los sistemas de generación y almacenamiento	74
Tabla 4 Costos de inversión del proyecto	77
Tabla 5 Tiempo /costo del retorno de inversión	79
CAPÍTULO V	
Tabla 1 Datos técnicos de la planta de emergencia	81

BIBLIOGRAFÍA

- 1) <http://www.censolar.es>
- 2) <http://www.sener.gob.mx>
- 3) Sistemas fotovoltaicos de electrificación para viviendas rurales. Reinhold Schmidt, Comisión Nacional de Energía de Chile. 2005
- 4) SENER/ GIZ, Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (ProSolar), México, D.F., Julio de 2012
- 5) Manual práctico Energía Fotovoltaica, Walter Hulshorst. Leonardo Energy.
- 6) Vocabulario técnico de energías renovables, solar, eólica e hidráulica. ITDG. Programa de energía, infraestructura y servicios básicos. Lima: ITDG la, 2004.
- 7) El ABC de las instalaciones eólicas y fotovoltaicas. Enríquez Harper, Limusa 2007.
- 8) <http://www.renovables.gob.mx/>
- 9) http://www.endesaeduca.com/Endesa_educarecursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas
- 10) http://www.redescepalcala.org/ciencias1/geologia/islandia/geologia.islandia_nesjavellir.htm
- 11) http://www.endesaeduca.com/Endesa_educarecursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiii.-las-centrales-eolicas
- 12) <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1345-central-fotovoltaica>
- 13) <http://www.panelessolares.com.mx/Fotovoltaicos/Plantasdeluzsolar.aspx>
- 14) <http://www.conermex.com.mx/componentes-de-energia/baterias,-gabinetes-y-racks.html>
- 15) <http://twenergy.com/energia-solar/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>
- 16) <http://galeon.com/claucomunicaciones/DOCUMENTOS/Planta.pdf>
- 17) <http://plantaselectricas.wordpress.com/planta-electrica/>
- 18) <http://ingenieriainternacional.mx/productos/productos-electricos/plantas-de-emergencia/>



- 19) http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=10701:ique-es-una-planta-electrica&catid=64:industria&Itemid=87
- 20) http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/D10_esp.html
- 21) <http://www.eoliccat.net/energia-eolica/la-tecnologia/como-funciona-un-aerogenerador.html?L=1>
- 22) <http://twenergy.com/energia-eolica/aerogeneradores-que-son-y-como-funcionan-375>
- 23) http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html
- 24) <http://energiadoblezero.com/energias-renovables/energia-eolica/componentes-de-un-aerogenerador>
- 25) <http://www.aerogeneradores.org/limitedebetz.php>
- 26) <http://www.masterfan.com.mx/situacion-en-mexico/>
- 27) <http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>
- 28) <http://www.generata.com/?mod=product&action=view&idproduct=172#>
- 29) <http://www.ecoticias.com/energias-renovables/24746/noticias-energias-energias-renovables-verdes-limpias-alternativas-sostenibles-sustentables-eolica-geotermica-solar-termosolar-concentracion-eficiencia-energetica-definicion-tipos-ventajas-paneles-placas-mareomotriz-aerogeneradores-nuclear-co2>
- 30) <http://cer.gob.cl/tecnologias/eolica/baja-potencia/eje-vertical-darrieus-panemona-y-savonius/>
- 31) Instalaciones eléctricas domésticas convencionales y solares fotovoltaicas/Gilberto Enríquez Harper. –México; Limusa; 2010
- 32) <http://www.calculatusemisiones.com/>