



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA BASADO EN PANELES
FOTOVOLTAICOS Y TURBINAS EÓLICAS”**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

GIOVANI SORIA DURAN

Asesor de Tesis:

DR. GILBERTO GONZÁLEZ AVALOS

MORELIA MICHOACÁN, MAYO DEL 2017.

Agradecimientos

Agradezco a dios por permitirme estar en este día tan importante, por permitirme concluir esta etapa de mi vida y académicamente ya que con esfuerzo, constancia lo he logrado, además del gran esfuerzo que han hecho mis padres Virgilio Soria Maldonado y Ma. Soledad Duran Barreto ya que sin ellos no hubiera sido posible, por darme el apoyo incondicional tanto emocional como económicamente, por ser la motivación a seguir adelante.

A mi asesor el Dr. Gilberto González Avalos por el apoyo, los ánimos que me brindo para terminar el presente trabajo.

A mi escuela la Facultad de Ingeniería Eléctrica dependiente de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por la estancia y mi formación.

A mi tío Rufino Soria Maldonado (†) que siempre ha sido mi inspiración.

A mis hermanos Virgilio Jr., José Lourdes y Andrick Iván.

A mis amigos que siempre me han brindado un consejo.

INDICE

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Fuentes renovables en la generación de Energía Eléctrica	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Metodología de la Investigación	3
1.5 Contenido de la Tesis.....	4

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELÉCTRICA

2.1 Energía.....	8
2.2 Energía Eléctrica	11
2.3 Centrales de Generación.....	12
2.3.1 Fuentes No Renovables.....	13
2.3.1.1 Central Térmica	13
2.3.1.2 Central Térmica Convencional	14
2.1.3.3 Centrales Geotermoeléctricas	17
2.3.1.4 Central Nucleoeléctrica.....	20
2.3.2 Fuentes Renovables	21
2.3.2.1 Central Solar Fotovoltaica	21
2.3.2.2 Energía Eólica	24
2.3.2.3 Central Hidroeléctrica	27
2.3.2.4 Central Mareomotriz	31
2.3.2.5 Central Undimotriz	33
2.3.2.6 Biomasa.....	36

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

3.1 Introducción.....	40
3.2 Descripción del Sistema Típico a Suministrar Energía.....	40
3.3 Diseño del Sistema Fotovoltaico	41
3.3.1 Cálculos de Páneos Fotovoltaicos	42
3.3.2 Cálculo del Inversor o Convertidor	45
3.3.3 Controlador de Carga.....	46
3.3.4 Baterías o Acumuladores.....	46

3.3.5 Conductores.....	47
3.4 Diseño del Sistema Eólico.....	48
3.4.1 Tipos de Generadores	48
3.4.1.1 Según el Eje de Giro del Rotor.....	48
3.4.2 Cálculo de la potencia del viento	56
3.4.3 Cálculo de la potencia aprovechable	56
3.4.4 Cálculo de protecciones para el sistema completo de generación	59
3.4.5 Diseño Completo del Sistema de Generación	61

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN

4.1 Introducción.....	62
4.2 Comparativa de Potencia Generada vs Potencia Demandada	62
4.3 Escenario de Generación máxima de energía solar y generación nula de energía eólica.....	63
4.4 Escenario de Generación típica de energía solar y generación nula de energía eólica.....	64
4.5 Escenario de Generación máxima de energía solar y generación máxima de energía eólica.....	65
4.6 Escenario de Generación máxima de energía solar y típica de energía eólica	67
4.7 Escenario de Generación típica de energía solar y típica de energía eólica..	68
4.8 Escenario de Generación típica de energía solar y máxima de energía eólica	69
4.9 Escenario de Generación nula de energía solar y máxima de energía eólica	71
4.10 Escenario de Generación nula de energía solar y típica de energía eólica..	72
4.11 Escenario dinámico de Curva Diaria de Demanda.....	74

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	77

REFERENCIAS.....	78
-------------------------	-----------

RESUMEN

Se propone un sistema de generación híbrida, el cuál está basado en paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas, mismo que estará interconectado en media tensión a la red de distribución de la empresa suministradora de energía eléctrica, que es la CFE, se propone un conjunto habitacional que consta de 100 viviendas y que tiene una acometida en baja tensión, la demanda que se le asigna a cada vivienda es de 1 kW. El sistema de generación que se propone es un sistema eólico-solar que consta de 4 etapas, en cada etapa se tiene un conjunto de 100 paneles y respectivamente su inversor, que llega a un tablero de distribución, que es donde se hace la interconexión con la sección de generación eólica, que consta de una turbina de 10 KW la cual tiene su propio inversor, en ese mismo tablero de distribución se tiene la derivación hacia el tablero que da suministro de energía eléctrica a 25 viviendas, en ese mismo tablero se tiene acceso a la red de distribución mediante un transformador de distribución, el cuál es la parte clave para inyectar energía eléctrica en el caso de que se tuviera excedente en la generación eólico-solar o en el caso de que no fuera suficiente la energía generada se consume de la red de distribución con el mismo transformador, así se propone instalar 4 etapas idénticas para tener una generación de 100 KW que es la demanda total del conjunto habitacional. Se plantea de esa manera la topología del sistema eléctrico por cuestiones de flexibilidad, disponibilidad y de mantenimiento.

Palabras Clave: Sistema híbrido, fuentes alternas, solar-eólico, interconectado a la red, paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas.

Abstract:

It is proposed to system of generation hibryd, which this based in photovoltaic panels and wind turbines, same that will be interconnected in médium voltage to the distribution network of the supplying company of electric energy, which is the CFE, it is proposed to set housing that consists of 100 households and that has a connection in low voltaje, the demand which is assigned to each house is of 1 kW. The system of generation which it is proposed is a system solar-wind which consists of 4 stages, at each stage there is a set of 100 panels and respectively its invertir, that arrives at a distribution board, which is where the interconnection is done which the wind generatin section, which consists of a 10 kW turbine, which has its own inverter, in the same distribution board has the derivation towards the board which provides electricity to 25 homes, in the same board the distribution network is accessed through a distribution transformer, which is the key part to inject electric energy in the case that it had surplus in the solar-wind generation or in case it was not enough the generated energy is consumed of the distribution network with the same transformer, so it is proposed to install 4 identical stages to have a generation of 100 KW which is the total demand of the housing complex. In this way, the topology of the electrical system is posed for reasons of flexibility, availability and maintenance.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Fuentes renovables en la generación de Energía Eléctrica

Al paso de los años la dependencia de energía eléctrica para desarrollar tareas se ha ido aumentando de tal forma que se ha incrementado la generación de energía eléctrica. La generación de energía eléctrica actualmente en su mayoría se da por fuentes no renovables las cuales tienen un alto impacto ambiental en el mundo, entre esas fuentes no renovables están: Plantas de Generación Nucleares, Plantas Termoeléctricas, Plantas Carboeléctricas, entre otras. Las fuentes renovables para la generación de energía eléctrica hoy en día juegan un papel

importante ya que cada vez más aportan generación de energía eléctrica de manera limpia, entre esas fuentes renovables son las siguientes: Fotovoltaica, Biomasa, Eólica, Hidráulica, Mareomotriz, Undimotriz, Geotermia, entre otras.

1.2 Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de generación renovable basada en paneles fotovoltaicos y una turbina eólica interconectado al sistema de CFE, teniendo como base el consumo en una casa residencial y un sistema de bombeo.

1.3 Justificación

La emisión de dióxido de carbono CO_2 producido por la combustión en plantas de generación que tienen como combustible derivados del petróleo tales como gas, gasolina, diésel, combustóleo han creado un problema que tiene un gran impacto ambiental, climático que originan efecto invernadero y que afecta la salud de los seres vivos en nuestra sociedad ha llevado a desarrollar nuevas alternativas para la generación de energía eléctrica. Estas nuevas alternativas son las fuentes alternas de generación de energía eléctrica las cuales tienen como objetivo utilizar la energía que nos da la naturaleza de forma natural como lo son: agua, sol, mar, entre otras, y que estas puedan generar energía eléctrica de manera natural. En la actualidad podemos encontrar parques de paneles fotovoltaicos, parques de turbinas eólicas, centrales hidráulicas que generan energía eléctrica y aportan al consumo humano. Sin dejar a un lado que aun el costo para implementar estas fuentes renovables aun es costoso vemos que tiene un gran impacto y es justificante y que con el avance de la tecnología en un futuro no muy lejano estas puedan ser menos costosas para que puedan estar disponibles para la sociedad en general y así se implementen tanto para usos residenciales así como en conjunto para aportar al consumo industrial.

Entre las fuentes convencionales de generación no renovables se encuentran las siguientes:

- Centrales Termoeléctricas.
- Centrales Carboeléctricas.
- Centrales Nucleares.
- Entre otras que usan de combustible al carbón, gas, combustóleo y demás derivados del petróleo.

De la misma manera se tienen fuentes de generación renovables las cuales son las siguientes:

- Central Solar.
- Parques Eólicos.
- Central Hidroeléctrica.
- Central Mareomotriz.
- Central Undimotriz.
- Biomasa.

Es por eso que en este trabajo se tiene como objetivo el diseñar un sistema basado en paneles fotovoltaicos y turbina eólica para que en trabajos futuros se haga la implementación del mismo y se utiliza para la generación de energía eléctrica en casas residenciales así como en sistemas de bombeo en pequeña escala primeramente.

1.4 Metodología de la Investigación

Investigaremos las fuentes renovables especialmente paneles fotovoltaicos así como la turbina eólica para diseñar un sistema hibrido de generación interconectado a la empresa suministradora de energía eléctrica. Lo cual comprende desde los paneles fotovoltaicos, turbina eólica, conductores, inversor, baterías y el control para la interconexión.

Se harán los cálculos necesarios para el diseño así como la implementación a escala y comprobar su funcionamiento.

1.5 Contenido de la Tesis

Esta tesis se divide en 5 capítulos en los cuales se enfoca el tema de análisis de generación de energía eléctrica basado en paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas así como interconexión del sistema híbrido al sistema eléctrico de CFE.

En el capítulo 1 se da una breve explicación de las fuentes renovables así como no renovables que hoy en día operan, así como el objetivo, justificación y metodología de este trabajo.

En el capítulo 2 se da una explicación más extendida de los antecedentes de generación de energía eléctrica, en este se explicará la forma de operación de cada fuente así como sus ventajas y desventajas, sus características de operación.

En el capítulo 3 se hace un diseño de un sistema híbrido basado en paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas, el diseño comprende desde los paneles y la turbina hasta el sistema de control para la interconexión ante la CFE. En este capítulo se plantean las bases para el diseño y las consideraciones del mismo.

En el capítulo 4 se hace el análisis del sistema híbrido, explicando las características de sus etapas así como su comportamiento.

En el capítulo 5 es la parte final del trabajo en donde se dan conclusiones, las cuales se obtendrán durante el desarrollo del presente trabajo así como de sus implementaciones.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

La generación de energía eléctrica inicio en México a fines del siglo XIX. La primera planta de generación que se instaló en el país fue en León Guanajuato en el año de 1879 y era utilizada por la fábrica textil La Americana. Provocando así casi de manera inmediata extender esta forma de generar energía electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública. En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica. Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las

primeras 40 lámparas de arco en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la ciudad de México. Algunas compañías internacionales con mayor capacidad vinieron a crear filiales como, The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el Occidente.

A inicios del siglo XX, México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas, ya para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80 % los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones y las instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas, que sólo funcionaban en sus regiones. En ese periodo se dió el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, que enseguida fue llamada Comisión Nacional de la Fuerza Motriz, fue el 2 de diciembre cuando se decretó que la generación y distribución de energía eléctrica son actividades de utilidad pública.

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales sólo siete millones contaban con energía eléctrica, que era proporcionada por tres empresas privadas y con serias dificultades. Algunas de las dificultades que tenía el suministro de energía eléctrica eran las interrupciones constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que las empresas se enfocaban en los mercados urbanos más redituables, por lo que no contemplaban las poblaciones rurales donde habitaba más del 62 % de la población, en ese tiempo se tenía una capacidad instalada de generación de energía eléctrica en el país de 629 MW, misma que generaba una situación que no permitía el desarrollo del país, por lo cual el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que tendría como objetivo organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica el cual estaba basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener al menor costo, el mayor

rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. La CFE comenzó a construir plantas de generación y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando así a los mexicanos al poder bombear el agua para riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica que realizó la CFE fueron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xia(Oaxaca), y Ures y Altar(Sonora). Después se inició con el gran proyecto Hidroeléctrico en 1938 con la construcción de canales, caminos y carreteras, de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el estado de México, que posteriormente fue llamado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán. En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de generación de 64 KW, mismos que en ocho años aumento hasta alcanzar 45,594 KW, ocasionando así que las compañías privadas dejaran de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que estas la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa, con el objetivo de satisfacer toda la demanda. Ya para 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexicana Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías el 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación que se habían llevado a cabo en esas fechas sólo se tenía que el 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos, decidió nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960. Entonces en 1961 la capacidad total instalada que se tenía en el país ascendía a 3,200 MW, por lo que CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad paso de cero a 54%.

Ya para esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura, ya que se construyeron grandes centrales de generación, entre ellos la de Infiernillo y Temazcal así como la instalación de otras plantas de generación alcanzando una capacidad instalada de 7,874 MW para 1971. En la década de 1970 a 1980 se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse centrales de generación que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW. Cabe mencionar que en aquellos tiempos de la industria eléctrica se tenían sistemas aislados con características técnicas diferentes, tal como voltajes de distribución que llegaron a

coexistir casi 30 voltajes, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas que fueron de 50 y 60 Hertz, mismas que ocasionaban la dificultad del suministro de energía eléctrica, por lo que CFE se vió obligado a definir y a unificar los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar a los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Enseguida se normalizaron las frecuencias a 60 Hertz y CFE integró a los sistemas de transmisión al Sistema Interconectado Nacional.

La generación de la energía eléctrica es la que se lleva a cabo mediante alternadores o generadores, esto consiste en transformar alguna clase de energía, ya sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. De todos los tipos de energía la que más uso ha recibido es la energía eléctrica, esta se da por la difusión que tiene tanto en la economía de las naciones como en el uso doméstico. El rápido desarrollo del aprovechamiento de la energía eléctrica estimuló a la construcción de grandes centrales de generación capaces de convertir la energía mecánica, obtenida mediante otras fuentes de energía primaria en energía eléctrica. Las centrales de generación se pueden clasificar en Termoeléctricas (de combustibles fósiles, Biomasa, Nucleares o Solares), Hidroeléctricas, Eólicas, Solares Fotovoltaicas o Mareomotrices. La mayor parte de la energía generada a nivel mundial proviene de las centrales: Termoeléctricas, Hidráulicas y Eólicas. La demanda de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día de tal manera que la generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar el suministro. [9]

2.1 Energía

La energía es necesaria para la vida y está estrechamente vinculada al desarrollo tecnológico, ya que en la mayoría de las áreas es necesario al menos un tipo de energía. Siendo esta energía la que puede originar o dar existencia a trabajo. Es la capacidad de la materia de producir calor, trabajo en forma de movimiento, luz, crecimiento biológico, etc. Por materia se entiende a cualquier cuerpo sólido, líquido

y gaseoso existente. Las distintas manifestaciones o formas de energía pueden transformarse de unas a otras. Para realizar dichas transformaciones el hombre ha tenido la necesidad de crear máquinas que le permitan hacer este tipo de transformación, ya que de lo contrario no se podría hacer esa transformación. Una transformación posible de la energía es el caso de la energía potencia o de posición que posee una masa de agua estancada que se transforma en energía cinética al caer de una altura cualquiera (energía hidráulica) por una tubería e incide sobre el rodete de una turbina hidráulica, haciéndola girar (energía mecánica).

Algunas de las formas de energía que se presentan son las siguientes:

- **Mecánica:** Es la energía relacionada con el movimiento y las fuerzas que pueden producirlo. Se distinguen:
 - **Energía Cinética (Ec):** Asociada al movimiento de los cuerpos en relación a su velocidad. Depende de su velocidad del cuerpo y su masa.

$$Ec = \frac{1}{2}mV^2$$

Donde :

$m = \text{masa (Kg)}$.

$V = \text{Velocidad } \left(\frac{m}{s}\right)$.

$Ec = \text{Energia Cinetica (J)}$.

- **Energía Potencial(Ep):** Es la energía que posee un cuerpo debido a la posición que ocupa dentro de un campo de fuerzas, tales como el gravitatorio, el magnético, o el eléctrico. En el campo gravitatorio la energía potencial depende de la masa del cuerpo, de la aceleración de la gravedad y, de la altura.

$$Ep = mgh$$

Donde :

$m = \text{masa (Kg)}$.

$g = \text{gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$.

$h = \text{altura (m)}.$

$E_c = \text{Energía Potencial (J)}.$

- **Sonora o Vibrante:** Asociada a la transmisión de vibraciones a través de la materia.
- **Energía Térmica:** Asociada a la temperatura de los cuerpos. Se debe a la agitación de las moléculas que constituyen la materia, de tal forma que entre más temperatura tengan los cuerpos más vibración hay es sus átomos que es la razón por la que los cuerpos se dilatan. Un cuerpo a baja temperatura tendrá menos energía térmica que otro que este a mayor temperatura. La transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura se llama calor.
- **Energía Química:** es la asociada a los enlaces entre átomos y moléculas que constituyen la materia y que se observa en las reacciones químicas. Tales como, el carbón al quemarse deja de ser sólido y eso se debe a que se rompen los enlaces entre sus átomos y se transforma en 'humo' (Gas), generando calor al liberarse energía de sus enlaces.
- **Energía Eléctrica:** es producida por el movimiento de cargas eléctricas en el interior de los materiales conductores, esto asociado a la corriente eléctrica.
- **Energía Radiante:** es la que poseen las ondas electromagnéticas como la luz visible, las ondas de radio, los rayos ultravioletas (UV), los rayos Infrarrojos (IR), etc. La característica principal de esta energía es que se puede propagar en el vacío, sin soporte de material alguno, tal es el caso de la energía que nos proporciona el Sol y que nos llega a la Tierra en forma de luz y calor.
- **Energía Nuclear:** es la energía almacenada en el núcleo de los átomos y que se libera en las reacciones nucleares de fusión y fisión.

2.2 Energía Eléctrica

La energía eléctrica es una de las formas de manifestarse la energía. Este tipo de energía tiene las cualidades de ser flexible en su control, la fácil y limpia transformación de energía a trabajo, así como el rápido y eficaz transporte, estas la hacen ser casi la energía perfecta, pero tiene el problema del almacenamiento masivo de energía y el costo de las líneas de transmisión. La energía eléctrica se denomina a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite así establecer una corriente eléctrica que es el movimiento de cargas eléctricas negativas o electrones entre ambos, cuando estos entran en contacto por medio de un conductor eléctrico. La energía eléctrica puede transformarse en otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. La energía eléctrica es una forma de energía de transición extremadamente difundida en la actualidad y cómoda debido a sus posibilidades de conversión que pueden ser: calefacción, iluminación, energía mecánica, así como de transporte. Esta energía eléctrica generalmente, proviene de la conversión en centrales eléctricas, de energía mecánica a energía eléctrica por medio de generadores. De tal forma que al cerrar el interruptor de un circuito eléctrico, circula por este una corriente que es el flujo de electrones. Otra forma de producción de energía eléctrica es por incidencia de luz solar sobre ciertos materiales, tal como sucede en las celdas fotovoltaicas, otra manera de la producción de energía eléctrica es por inducción que se da cuando una espira se desplaza por un campo magnético, apareciendo así una diferencia de potencial entre sus terminales. El aprovechamiento de la energía eléctrica está ligado al desarrollo humano, siendo esta la forma de energía más utilizada tanto en residencias, comercio, industria, transporte, etc. En Figura 2.1 se ilustra un sistema eléctrico que comprende las etapas de generación, transmisión y distribución.

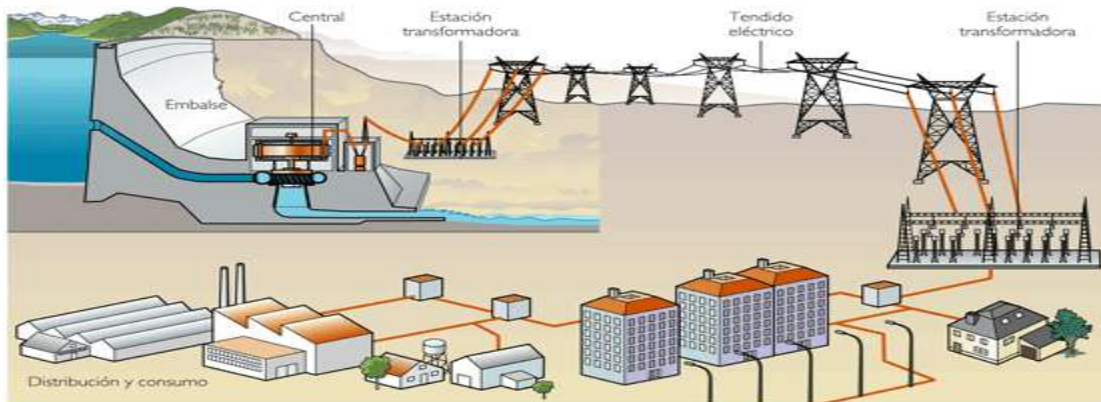


Figura 2.1. Sistema Eléctrico

2.3 Centrales de Generación

Se denomina así a cualquier instalación que tiene como fin la generación de energía eléctrica, que se da mediante la transformación de energía potencial en trabajo. Las centrales eléctricas son las diferentes plantas encargadas de la producción de energía eléctrica y, generalmente se sitúan en las cercanías de fuentes de energía básicas como lo son, ríos y yacimientos de carbón, etc., aunque también pueden situarse próximas a las grandes ciudades y zonas industriales, donde el consumo de energía es elevado. Los generadores o alternadores que son encargados de la generación de energía eléctrica son accionados por motores primarios. Hay diferentes tipos de centrales eléctricas que dependen de las distintas materias primas empleadas para obtener la energía eléctrica. Se diferencian en la energía potencial primaria que origina la transformación. Teniendo en la actualidad diferentes tipos de fuentes de energía eléctrica que se dividen en fuentes Renovables y No Renovables, que se clasifican de la siguiente manera:

Fuentes No Renovables

Las Fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración. Existen varias fuentes de energía no renovables, como son:

- Central Térmica.
- Central Geo termoeléctrica.

- Central Nucleoeléctrica.

Fuentes Renovables

Las Fuentes de energía renovables son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Algunas de estas fuentes renovables están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. Existen varias fuentes de energía renovables, como son:

- Central Solar.
- Energía Eólica.
- Central Hidroeléctrica.
- Central Mareomotriz.
- Central Undimotriz.
- Biomasa.

2.3.1 Fuentes No Renovables

2.3.1.1 Central Térmica

Este tipo de centrales son las que utilizan como fuente primaria el calor proveniente de combustibles. De esta forma pueden ser de combustión o de no combustión. El principio de funcionamiento de una central térmica se basa en el intercambio de energía calorífica en energía mecánica y luego en energía eléctrica. Es el aprovechar la energía química de los combustibles derivados del petróleo como el bunker, diésel, gas natural, otros como carbón mineral, residuos vegetales, etc., para producir energía eléctrica. El ciclo Rankine es el ciclo termodinámico que se emplea en las centrales térmicas de vapor. Por ser el ciclo fundamental que siguen las turbinas de vapor, ha sido mejorado a lo largo del tiempo a través de:

- Disminuir la presión en el condensador.
- Aumentar la presión en la caldera.
- Emplear vapor sobrecalentado.
- Emplear recalentador intermedio.
- Precalentar el agua de alimentación.
- Emplear ciclos binarios.

La temperatura máxima que puede adquirir el valor sobrecalentado esta normalmente limitado por los materiales empleados en la zona de sobrecalentamiento de la caldera. Actualmente, la temperatura máxima es del orden de los 540 °C. La presión máxima es del orden de 150 bars y está limitado por problemas de diseño mecánico de la turbina y por la humedad admisible a la salida de la misma (10%). La presión mínima está en función de la temperatura del condensador y su magnitud suele estar situada en el intervalo de 0.03 bar a 0.14 bar, lo que corresponde a una temperatura del condensador de 26 °C y 52°C respectivamente. En la Figura 2.2 se ilustra el modelo típico de una central térmica convencional.

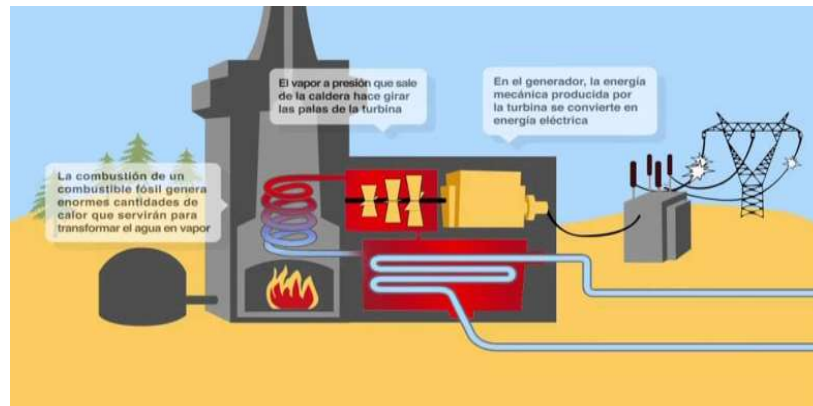


Figura 2.2. Central Térmica

2.3.1.2 Central Térmica Convencional

En las centrales térmicas de vapor se utilizan como máquinas motrices las máquinas de vapor, o las turbinas de vapor o, en algunos casos, ambos tipos de máquinas, además de accionar a los generadores eléctricos principales, en las centrales térmicas de vapor, también se utilizan para el accionamiento de equipos auxiliares, tales como bombas, hogares mecánicos, ventiladores, excitatrices, etc. El vapor necesario para el funcionamiento de las máquinas motrices, se producen en calderas, quemando combustibles en los hogares que forman parte integrante de las propias calderas; desde estas, el vapor se conduce por medio de canalizaciones hasta las máquinas o turbinas de vapor.

Las turbinas de vapor convencionales comprenden tres partes constructivas fundamentales:

- Sala de calderas.
- Sala de máquinas.
- Sala de distribución.

Y además, los intercambios de energía se realizan utilizando tres clases de circuitos principales y varios auxiliares. En la Figura 2.3 se ilustra una central térmica de vapor.

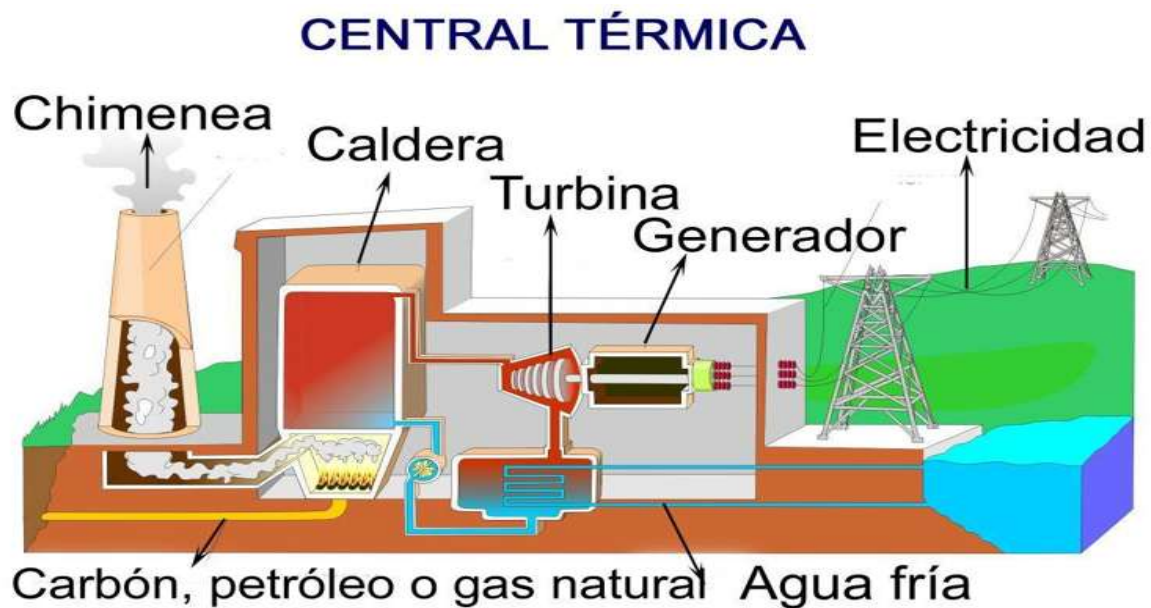


Figura 2.3 Central Térmica de Vapor

- Circuito de Combustible

El Combustible se quema en el hogar, constituido por un recinto cerrado por paredes de mampostería, en las que, generalmente, se encuentran los canales de circulación del aire necesario para la combustión. Después de calentar la caldera donde, tiene lugar la vaporización del agua, los gases residuales de la combustión o humos pasan a un conducto para ser eliminados al exterior. Como estos gases aún se encuentran calientes, puede aprovecharse la energía térmica contenida para el circuito primario de uno o varios recalentadores de vapor y para el circuito primario de uno o más economizadores del agua de alimentación de la caldera. Desde aquí

los gases pasan a la chimenea de tiro natural o de tiro forzado, y de ahí salen al exterior.

- Circuito de Agua-Vapor

La evaporización del agua se realiza en la caldera que es, un depósito de agua que se calienta hasta que el agua se convierte en vapor. Como el vapor, a la salida de la caldera, contiene aun partículas líquidas, se le convierte en vapor recalentado haciéndoles pasar por el circuito secundario de uno o más recalentados primarios, situados en la trayectoria de los gases de combustión. Desde la caldera el vapor a presión y a alta temperatura, se conduce hasta la turbina o hasta la máquina de vapor, donde se expansiona produciendo energía mecánica. En las turbinas modernas se hacen extracciones de vapor, conduciéndolo de nuevo a los recalentadores secundarios de la caldera donde el vapor sufre nuevos recalentamientos para ser posteriormente introducido en los siguientes cuerpos de la turbinas o en otras turbinas independientes.

Una central térmica de vapor tiene tanto mejor rendimiento cuanto más frio este el vapor de escape, a la salida de la turbina, el vapor se hace pasar por un condensador que no es más que un dispositivo de refrigeración donde el vapor se condensa y se transforma nuevamente en agua; la condensación se realiza introduciendo agua fría a presión en el condensador, a la que se obliga a circular por uno serpentines de refrigeración.

El agua resultante de la condensación, y procedente de la turbina se impulsa hacia la caldera por medio de bombas de alimentación. Para aumentar el rendimiento térmico del conjunto, es conveniente que el agua de alimentación entre en la caldera ya caliente, para lo que se hace pasar previamente por los circuitos secundarios de uno o más precalentadores, calentados por extracciones de vapor por las turbinas, y por uno o más economizadores, calentados por los gases de escape antes de su salida a la atmósfera por la chimenea.

- Circuito de Energía Eléctrica

La energía eléctrica es producida en los generadores eléctricos, accionados por las máquinas o las turbinas de vapor. En casi todas las centrales térmicas modernas se produce corriente alterna trifásica. Desde los generadores la corriente eléctrica se lleva a transformadores apropiados, donde se eleva la tensión de la energía producida. Los transformadores pueden alojarse en lugares especiales o, en el mismo pabellón de distribución que, por lo general, está completamente separado de la sala de máquinas; esta separación viene impuesta, la mayoría de las veces, por la exigencia de que en este pabellón debe de haber suficiente iluminación natural y de que los aparatos, transformadores, etc., puedan inspeccionarse fácilmente y montarse y desmontarse cuando sea necesario: también debe de haber espacio suficiente para la instalación de canalizaciones.

Las centrales térmicas de vapor necesitan, generalmente, un alto consumo de energía, por lo que es más conveniente tomar esta energía de un pabellón de distribución especial ya que, casi siempre, la tensión para las necesidades propias de la central es distinta la tensión de distribución.

- Circuitos Auxiliares

Son numerosos, aquí destacando los más importantes:

- Circuito del tratamiento del combustible.
- Circuito de aire de combustión.
- Circuito de eliminación de cenizas y escorias.
- Circuito de tratamiento de agua de alimentación.
- Circuito de agua de refrigeración.
- Circuito de lubricación.
- Circuitos de control.
- Circuitos de hidrógeno.

2.1.3.3 Centrales Geotermoeléctricas

Las centrales Geotermoeléctricas son las que utilizan el vapor del agua, almacenado bajo la superficie de la tierra. En su estado natural, a esta fuente de

energía se le llama energía calórica o geotérmica, que luego es transformada en energía eléctrica.

En forma esquemática y simple, se puede considerar que la tierra está conformada por tres capas concéntricas, desde la superficie hasta su centro, el cual está ubicado a una profundidad de 6,357,78 Km. Estas tres capas son: La superficie denominada corteza terrestre que está constituida por rocas en estado sólido y que podemos observar en forma directa. Su espesor rara vez supera los 70 Km. La segunda etapa, es denominada manto, que tiene composición mineralógica diferente a la corteza y con una densidad mucho mayor. Debido a las temperaturas y a las características de su constitución que se tienen a esas profundidades el material se encuentra semifundido, otorgándole al manto un estado dinámico semejante al de una masa plástica, esta segunda etapa tiene una profundidad de 2,900 Km aproximadamente. A partir de allí nos encontramos con la última y tercera etapa que es el núcleo que es caracterizada por que los materiales que la constituyen poseen una densidad muy superior a la de las capas anteriores. El calor contenido en los materiales que componen al manto y al núcleo se transmite paulatinamente a la corteza generando un flujo ascendente de calor que luego de atravesarla y alcanzar la superficie terrestre se disipa en la atmósfera. Por lo general, en el sector más superficial de la corteza, la temperatura aumenta en un valor promedio de 3°C por cada 100 metros de profundidad. Esta variación se conoce como 'Gradiente Geotérmico'. Cuando los valores de ese gradiente se encuentran entre 2 y 5°C cada 100 metros se considera como normal, mientras que para valores que excedan a 5 °C por cada 100 metros, habrá a 1500 metros de profundidad una temperatura de 180 °C aproximadamente.

En la parte inferior de la corteza terrestre, más precisamente en el sector del contacto Corteza/ Manto, existen algunas zonas que en razón de su particular configuración geológica, permiten que el flujo de calor ascendente que atraviesa la corteza y llega a la superficie, sea bastante más intenso que en la mayor parte de las áreas restantes. Es sabido que una parte del agua que se escurre por la superficie de la tierra (producto de lluvia, de deshielo, de cursos de agua, etc.) se

infiltra en el terreno y, a través de grietas y fracturas puede alcanzar profundidades de varios cientos o hasta miles de metros. Al tener en profundidad lechos de rocas suficientemente porosas, el agua circula a través de los poros de estas rocas. Esos estratos por donde circula el agua se conocen como 'acuíferos'. De tal manera que si, el acuífero se encuentra en una zona con un gradiente de $12^{\circ}\text{C}/100\text{ mts}$. Y a una profundidad de 1500 metros, deberá contener agua a temperatura cercana a los 180°C . Por otra parte, las rocas que conforman la corteza presentan frecuentemente fisuras y grietas, si la masa acuosa viene circulando por un acuífero que se encuentra con grietas y fisuras, el agua puede alcanzar la superficie del terreno, produciendo así un manantial o vertiente.

Entre los usos básicos que se le da a las aguas geotérmicas esta para fin eléctrico, que consiste en la generación de energía eléctrica mediante instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan al generador eléctrico. En una usina térmica convencional el vapor se obtiene quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en la usina o planta geotérmica el vapor se obtiene directamente del subsuelo. El vapor que se extrae del subsuelo viene mezclado con agua y sales, por lo que es necesario separarlas del vapor para que pueda ser inyectado a las turbinas. En el presente la única manera técnica y económica aceptable que se tiene disponer del calor contenido en el interior de la tierra para su utilización, consiste en extraerlo del agua o vapor contenido en los acuíferos hidrotermales. Pero para encontrar una zona donde se tengan acuíferos termales para ser explotados energéticamente requiere de un proceso exploratorio que consistente en una sucesión de etapas en las que se conjugan estudios geológicos y físicos progresivamente crecientes en especificada y complejidad e inversión. La experiencia acumulada en el mundo demuestra que las dimensiones superficiales

de un yacimiento geotérmico se hallan comprendidas entre 10 y 100 Km^2 . En la Figura 2.4 se ilustra el esquema de una central Geotermoeléctrica.

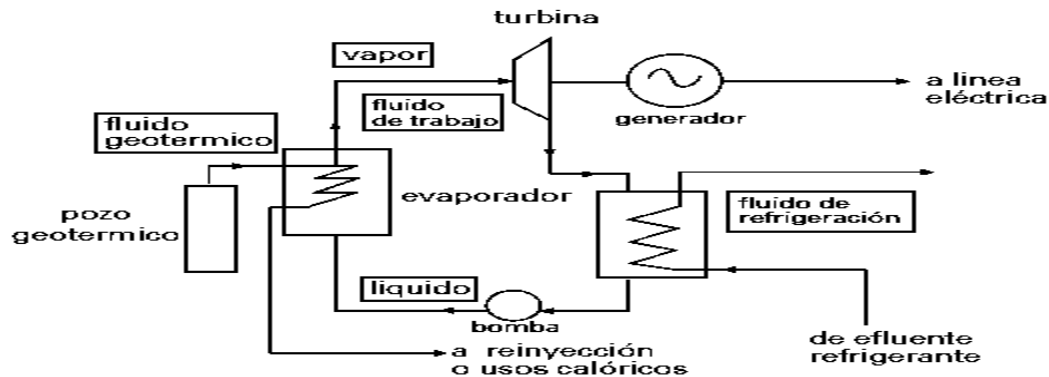


Figura 2.4 Central Geotermoeléctrica

2.3.1.4 Central Nucleoeléctrica

Una nucleoeléctrica es una central térmica de producción de electricidad. Su principio de funcionamiento es esencialmente el mismo que el de las plantas que funcionan con carbón, combustóleo o gas: la conversión de calor en energía eléctrica. Esta conversión de energía se hace en tres etapas: En la primera, la energía del combustible se utiliza para producir vapor a elevada presión y temperatura. En la segunda etapa la energía del vapor se transforma en movimiento en una turbina. En la tercera etapa, el giro del eje de la turbina se transmite a un generador, que finalmente genera energía eléctrica. Las centrales nucleoeléctricas se diferencian de las demás centrales térmicas solamente en la primer etapa de conversión, es decir, en la forma de producir vapor. En las centrales convencionales el vapor se obtiene en una caldera donde se quema de manera continua carbón, combustóleo o gas natural. La caldera consta de las siguientes partes:

- Un dispositivo de inyección de combustible (ya sea carbón pulverizado, combustóleo o gas).
- Un sistema de inyección de aire para que el combustible pueda quemarse.
- Un sistema para la eliminación de los gases producidos durante la combustión (chimenea).

- Un mecanismo de eliminación de cenizas cuando la central opera con carbón.
- Tubería por donde circula agua que al calentarse se convierte en vapor.

Las centrales nucleares tienen un reactor nuclear, que equivale a las calderas de las centrales térmicas convencionales, este reactor no tiene sistema de inyección continua de combustible ni de aire, ni sistema de eliminación continua de residuos sólidos, ni se producen gases de combustión. En la Figura 2.5 se ilustra el esquema de una central nucleoelectrónica.

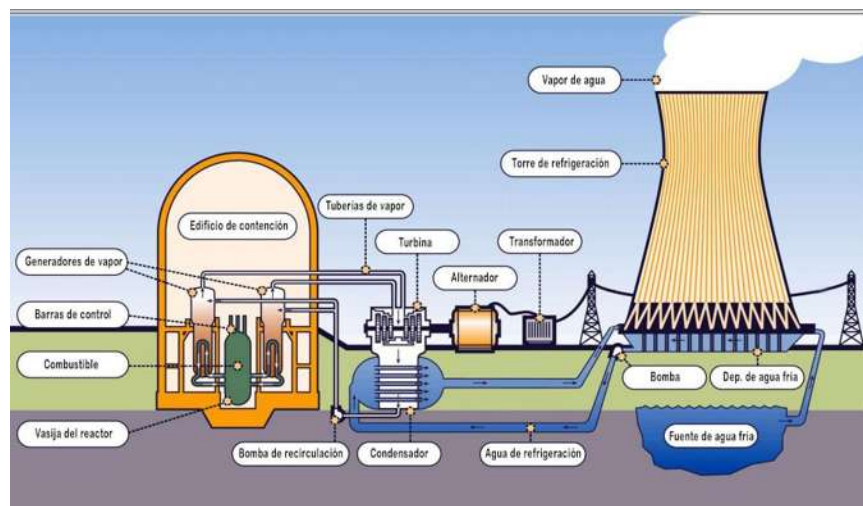


Figura 2.5 Central Nucleoelectrónica

2.3.2 Fuentes Renovables

2.3.2.1 Central Solar Fotovoltaica

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

En 1839, el físico francés Edmundo Becquerel fue el primero en constatar el efecto fotoeléctrico. Más tarde, Willoughby Smith en 1873 y Lenard en 1900 verifican su existencia bajo diferentes condiciones. En 1921 Albert Einstein gana el Premio Nobel de Física gracias a un trabajo en el que se describe la naturaleza de la luz y

el efecto fotoeléctrico y en el cual está basada la tecnología fotovoltaica. En 1920 el físico norteamericano Millikan corroborará totalmente la teoría de Einstein. Sin embargo, fue en 1954 cuando se construye el primer módulo fotovoltaico en los Laboratorios Bell y es tratado como un experimento científico ya que su coste era demasiado elevado para su utilización a gran escala. Para las células fotovoltaicas, una rejilla semiconductora recibe un tratamiento químico especial para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la luz solar incide en la célula, los electrones son desplazados del material semiconductor. Si ponemos conductores eléctricos tanto del lado positivo como del negativo de la rejilla, formando un circuito eléctrico, los electrones pueden ser capturados en forma de electricidad. Esta electricidad puede ser utilizada para suministrar energía a una carga, por ejemplo para encender una bombilla. La conjunción de varias células conectadas eléctricamente entre si y montadas en una estructura de apoyo o marco, se llama módulo fotovoltaico. Varios módulos pueden ser conectados unos con otros para formar un campo solar. Los módulos producen electricidad en corriente continua, pudiendo ser conectados en serie o en paralelo para conseguir el voltaje que se requiera. La electricidad producida por los módulos se utiliza de diferentes formas según sea su aplicación. Los principales usos de la Energía Solar Fotovoltaica son la electrificación de lugares aislados de la red eléctrica (viviendas, sistemas de control remoto, telecomunicaciones, rótulos luminosos, farolas, embarcaciones, alarmas), el bombeo solar directo y la conexión a red.

Existen fundamentalmente dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: instalaciones aisladas de la red eléctrica y centrales de generación conectadas a la red.

- a) Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica:** gracias a esta tecnología podemos disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica. De esta manera, podemos suministrar electricidad a casas de campo, refugios de montaña, bombeos de agua, instalaciones ganaderas, sistemas de iluminación o balizamiento, sistemas de comunicaciones, etc.

Los sistemas aislados se componen principalmente de captación de energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos y almacenamiento de la energía eléctrica generada por los paneles en baterías.

b) Electrificación de sistemas aislados: En el caso de electrificación de lugares aislados de la red eléctrica de distribución la energía producida por los módulos pasa por un regulador de carga y se almacena en baterías, también llamadas acumuladores. El convertidor, en caso de ser necesario, se encarga de transformar la corriente continua de las baterías en corriente alterna para abastecer los consumos. La potencia de los módulos se mide en watts-pico (Wp). La capacidad de almacenamiento de energía de las baterías se denomina en amperes-hora (Ah) y la capacidad de regulación de carga en amperes (A).

El consumo de energía se determina vatios-hora (Wh) y la potencia necesaria en convertidor en watts (W). Según la energía consumida se determinan los elementos que deben componer una instalación. Se llama autonomía del sistema a la cantidad de días que se pueden abastecer los consumos sin que las baterías reciban carga, es decir que los módulos no reciban nada de luz solar.

c) Bombeo solar directo: En las instalaciones de Bombeo Solar Directo la energía producida por los módulos es transformada por medio de un variador de velocidad para suministrar electricidad a la bomba. La cantidad de módulos necesarios para un bombeo viene determinada por la altura de elevación y el volumen que se necesite. También se deberá tener en cuenta si el agua se elevará a boca de pozo, si se va utilizar directamente a goteros o se almacenará en un depósito.

d) Sistemas fotovoltaicos conectados a red: esta aplicación consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red de distribución eléctrica. Actualmente, en países como España, Alemania o Japón, las compañías de distribución eléctrica están obligadas por ley a comprar la energía inyectada a su red por estas centrales

fotovoltaicas. Este tipo de centrales fotovoltaicas pueden ir desde pequeñas instalaciones de 1 a 5 *Kwp* en nuestra terraza o tejado, a instalaciones de hasta 100 *Kwp* sobre cubiertas de naves industriales o en suelo, e incluso plantas de varios megawatts.

e) Conexión a red: En las instalaciones de conexión a la red eléctrica de distribución la energía producida por los módulos es transformada a corriente alterna con la misma tensión y frecuencia que la red eléctrica para ser inyectada a ella. En este caso la compañía deberá pagar toda la energía producida por el sistema fotovoltaico. En la Figura 2.6 se muestra un esquema de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.[3]



Figura 2.6 Sistema Fotovoltaico Interconectado a la red

2.3.2.2 Energía Eólica

La energía eólica es una forma indirecta de la energía solar ya que se produce como consecuencia de la energía cinética del viento y éste es efecto de las diferencias de temperatura y presión de la atmósfera originada por la radiación del sol. La energía eólica se empieza a utilizar para producir electricidad durante el siglo pasado aunque siempre aplicada a instalaciones de pequeño tamaño y principalmente orientado al autoconsumo. La busca de alternativas al modelo energético convencional hizo, en la década de los noventa, que la energía eólica cobrará importancia por sus ventajas medioambientales. Desde entonces este tipo de energía se ha desarrollado tecnológicamente demostrando su viabilidad en términos económicos y reafirmandose como energía de futuro. La energía eólica es

actualmente la energía renovable con mayor crecimiento y representa ya una gran parte de la producción eléctrica. Nuestro país es uno de los mayores productores de energía eólica a nivel mundial y el estudio de las condiciones de viento en todo el territorio nacional está permitiendo la implantación progresiva de parques eólicos conectados a la red eléctrica en la mayoría de las comunidades autónomas. A nivel mundial, es el continente europeo el que produce la mayor parte de la energía eólica, llegando al 72%. Las iniciativas que han fomentado la instalación de aerogeneradores proceden de los gobiernos; por ejemplo en Alemania la ley obligaba a las compañías eléctricas a pagar a los productores de renovables el 90% del precio abonado por el consumidor. Hoy, uno de los objetivos que afectan a esta energía es el encontrar un modelo de aerogenerador eficaz que tenga un menor impacto visual, y que no dañe a las aves. También se está investigando para obtener esta energía a partir de aerogeneradores flotantes que, instalados en el mar reducirían el impacto de los aerogeneradores convencionales.

La energía eólica, a pesar de no estar demasiado implantada en la actualidad y tener aún muchas carencias en su desarrollo, es una de las energías alternativas que terminarán por ser, sí o sí, la alternativa del ser humano cuando se agoten los combustibles fósiles, que ahora extraemos y consumimos sin control. ¿Y por qué decimos que, tarde o temprano, las energías como la energía eólica se van a terminar por imponer? En primer lugar porque están ahí siempre, no se necesita de complicados procesos de producción y, además, es totalmente renovable. Por supuesto, otra de las grandes ventajas de la energía eólica es que es una alternativa muchísimo más limpia que el carbón, el petróleo o el gas natural, y también que la energía nuclear. Tan sólo la energía solar, otra fuente renovable, puede competir con la energía eólica en cuanto a respeto al medio ambiente. De esta forma se podría contribuir a frenar algunos de los grandes males medioambientales que asolan el planeta, caso del calentamiento global. Por otra parte, se trata de una energía que podría dar lugar al autoabastecimiento en determinadas zonas y que puede contribuir a llevar el desarrollo a zonas menos favorecidas.

Los puntos a favor de la energía eólica son tan importantes que pesan mucho más que sus inconvenientes, pero, siendo justos, cabe decir que hay algunos aspectos de la energía eólica que todavía no convencen del todo. En primer lugar, se necesitan unas condiciones meteorológicas concretas para que pueda funcionar a pleno rendimiento, es decir, no se pueden colocar los aerogeneradores en cualquier sitio, su localización debe estar muy estudiada. Por otra parte, estos aerogeneradores causan un importante impacto paisajístico en la zona y también pueden afectar a la vida y costumbres de los animales de la zona, en especial de las aves. Estas inconvenientes ya han intentado ser paliados, por ejemplo, con la colocación de aerogeneradores marinos, de los que te hablaremos en un epígrafe posterior. Por otra parte, cabe destacar que se trata de una energía todavía poco desarrollada, en la que no hay una inversión y una apuesta segura, ni por parte de los gobierno ni de las grandes corporaciones. La energía eólica todavía posee una tasa de producción de energía relativamente baja comparada con otras fuentes de energía, pero cada vez existen aerogeneradores más eficientes y capaces de una producción mayor. En cualquier caso, es una energía con mucho margen de mejora, y eso no deja de ser una buena noticia. En la Figura 2.7 se ilustra un aerogenerador.

Como ya sabemos, la energía eólica transforma en electricidad, la fuerza del viento ¿Pero cómo se transforma?

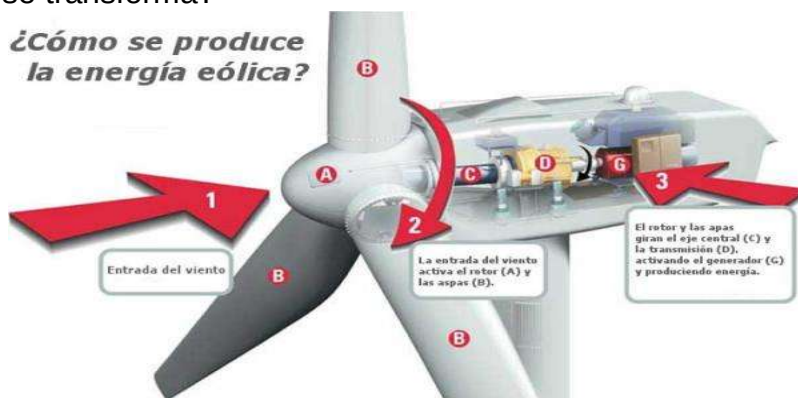


Figura 2.7 Turbina Eólica (Aerogenerador)

La radiación solar, que penetra de forma irregular en la atmósfera, da lugar al aire con diferentes temperaturas que, además poseen, diferentes densidades y presiones. El aire condensado que se desplaza desde las altas hacia las bajas presiones, crea el viento. Gracias a los aerogeneradores, que alcanzan los 50

metros de altura con hélices de hasta 23 metros de longitud, se consigue esto. La fuerza del viento, mueve las hélices del aerogenerador que, gracias a un rotor de un generador, convierte la fuerza del viento en energía eléctrica. En su parte posterior, tiene una “pequeña” veleta que le va indicando hacia dónde va el viento, para poder aprovecharse al máximo de la fuerza del viento. Partiendo de allí, se distribuye la energía eléctrica creada a las diferentes empresas que la distribuyen a todas las casas y comercios.

2.3.2.3 Central Hidroeléctrica

La energía hidráulica es la energía cinética del movimiento de masas de agua, o la energía potencial del agua disponible a una cierta altura. Como la mayoría de las otras energías renovables, la energía hidráulica es una consecuencia de la radiación solar. El Sol inicia el ciclo hidrológico (Figura 2.8) evaporando agua de la superficie de la Tierra (océanos, lagos, etc.) que, posteriormente, al precipitar y fluir por la superficie de los terrenos es capaz de proporcionar esta energía.



Figura 2.8 La energía hidráulica en el Ciclo Hidrológico

Cerca de un cuarto de la energía solar que incide sobre la tierra se consume en la evaporación de agua. El vapor de agua en la atmósfera representa, por consiguiente, un enorme y continuo almacenamiento de energía renovable. Si m kilogramos se elevan verticalmente una altura de H metros la energía potencial almacenada E_p viene dada por la siguiente expresión: $E_p = mgH$ donde g es la

aceleración de la gravedad. A partir de esta fórmula puede calcularse el límite superior absoluto de capacidad hidroeléctrica. En el mundo la precipitación anual se estima alrededor de 10^{17} litros, y la altura media del terreno sobre el nivel del mar es algo menos de 800 metros. La suma anual de energía almacenada es por tanto algo menos de 200.000 TWh al año. Esta energía equivale aproximadamente al doble del consumo anual de energía primaria en el mundo. Sin embargo, no existe tecnología que pueda capturar toda la cantidad de agua de lluvia que cae. Una parte del agua será siempre inaccesible y otra se evaporará antes de que pueda usarse. Si se calcula el potencial hidráulico mundial a partir del caudal de agua de los ríos puede estimarse que el recurso total es del orden de 50.000 TWh anual. Es decir, una cuarta parte del estimado a partir de las precipitaciones; pero todavía representa cuatro veces la producción total anual de todas las actuales estaciones de potencia del mundo. Un cálculo más realista debería contemplar el uso de embalses y condiciones locales como topografía de los terrenos y pluviometrías. Estimaciones actuales del potencial hidroeléctrico técnicamente explotable en el mundo sugieren una capacidad del orden de 2-3 TW, con una producción anual de 10.000-20.000 TWh. En la actualidad la capacidad de generación hidroeléctrica instalada en el mundo, sin tener en cuenta los sistemas de pequeña escala y las instalaciones privadas, es aproximadamente de 630 GW, con una producción anual de 2.200 TWh, es decir un 10% del potencial técnico explotable. Desafortunadamente la mayor parte de esta energía no está disponible para ser usada: es reciclada en la atmósfera cuando el vapor de agua condensa para formar la lluvia o la nieve, y finalmente reradiada en el espacio. Pero una pequeña fracción, menos de un diez por ciento del total de energía circulante, permanece potencialmente disponible cuando la lluvia cae en terrenos elevados, ya que el agua situada a una cierta altura contiene energía almacenada (energía potencial gravitacional). La potencia en watts de este recurso se estima mediante la expresión siguiente: $P = \rho Q g H \eta$ donde ρ es la densidad del agua en Kg/m^3 , Q el caudal de agua en m^3/s que circula por las tuberías que la conducen a las turbinas, g la aceleración de la gravedad en m/s^2 , H el desnivel en metros y η es el rendimiento del sistema. De la anterior expresión se deduce que puede obtenerse la misma

energía aprovechando grandes caudales con pequeños desniveles o pequeños caudales y grandes desniveles. El rendimiento recoge las pérdidas de energía debidas al rozamiento y turbulencias del flujo del agua en los canales y tuberías. Estas pérdidas varían mucho de un sistema a otro, alcanzándose rendimientos que oscilan entre un 75% y un 95%. A estas pérdidas hay que añadir el rendimiento de los sistemas de transformación de la energía hidráulica en energía eléctrica, que aunque actualmente son muy eficientes, inevitablemente, son menores del 100%.

Actualmente la energía hidráulica se destina fundamentalmente a la generación de electricidad. Las plantas hidroeléctricas actuales son el resultado de 2.000 años de avances tecnológicos, desde la rueda de madera, que convertía un bajo porcentaje de energía hidráulica en energía mecánica útil, a los modernos turbogeneradores que giran a 1.500 revoluciones por minuto y producen energía eléctrica con muy altos rendimientos. A diferencia de las otras energías renovables, la energía hidroeléctrica constituye una tecnología muy bien establecida. Para transformar la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación se utilizan dispositivos denominados turbinas hidráulicas, las cuales, acopladas al eje de un generador eléctrico, le imprimen el movimiento de giro necesario para que éste produzca energía eléctrica. La tipología de las centrales hidroeléctricas es muy variada. Estas dependen de:

- La altura útil del salto.
- La capacidad de generación.
- El tipo de tecnología.
- La localización y tipo de presa, embalse, etc.

Según el tipo de central las instalaciones hidráulicas pueden clasificarse fundamentalmente en:

- Centrales de agua fluyente.
- Centrales con embalse.

Las centrales de agua fluyente aprovechan desniveles naturales del cauce de un río. Mediante una presa o un azud desvían parte del caudal del río por un canal de

derivación hasta la llamada cámara de carga, donde está conectada la tubería forzada que conduce el agua con la mayor pendiente posible hacia el edificio de la central, donde se encuentran las turbinas, los generadores eléctricos y demás aparatos de regulación y control. El agua, una vez cede su energía a la turbina, se evacua por un canal de descarga devolviéndola de nuevo al cauce del río. Estas centrales se caracterizan por disponer de un salto útil prácticamente constante, y un caudal utilizado por la turbina muy variable, dependiendo de la hidrología. Por tanto, en este tipo de aprovechamiento, la potencia instalada es función directa del caudal que pasa por el río. Las centrales con embalse son aprovechamientos hidroeléctricos que tienen la posibilidad de almacenar las aportaciones de agua de un río. El almacenamiento del agua se lleva a cabo mediante la construcción de un embalse o utilizando embalses contruidos para otros usos, como riego o abastecimiento de poblaciones. Estas centrales pueden regular el caudal de agua que se envía a las turbinas con el propósito de adaptar la energía eléctrica producida a la demanda. En función del volumen de agua almacenado en el embalse, la regulación de la energía generada puede ser horaria, diaria o semanal. Gracias a la capacidad de almacenamiento y regulación de este tipo de centrales algunas de ellas utilizan el exceso de energía producido por las centrales térmicas y nucleares (que funcionan a ritmo continuo, ya que no pueden fácilmente regular su generación), o la energía variable generada por parques eólicos, para bombear agua desde un depósito inferior al embalse situado aguas arriba y así almacenarla en forma de energía potencial. De forma general pueden señalarse los siguientes subsistemas componentes en una central hidroeléctrica:

- Obra civil.
- Turbinas hidráulicas y transmisiones mecánicas.
- Generadores eléctricos.
- Subsistema de regulación y control.

La obra civil se compone de forma general de:

- Los elementos de retención (azudes y presas), destinados a retener el cauce de un río, y los elementos de seguridad para la evacuación de caudales, integrados por aliviaderos y compuertas.
- Los canales de derivación, cuya función es conducir el caudal de agua derivado hasta una cámara de descarga, pueden ser a cielo abierto, enterrados o una conducción a presión.
- La cámara de carga consiste en un depósito (mucho más pequeño que un embalse) ubicado en el otro extremo del canal. Estas cámaras alimentan a las tuberías forzadas.
- Las tuberías forzadas son las encargadas de conducir el agua desde la cámara de carga o desde el embalse hasta la turbina.
- El edificio central en cuyo interior se encuentran las turbinas, los generadores eléctricos y demás aparatos de regulación y control. Su ubicación requiere adecuados estudios topográficos, geológicos geotécnicos y de accesibilidad. Un elemento esencial de una instalación hidroeléctrica es la turbina hidráulica. En cuanto al modo de funcionamiento, las turbinas se pueden clasificar en dos grupos:
 - Turbinas de acción.
 - Turbinas de reacción.

Las turbinas de acción aprovechan la presión dinámica debida a la velocidad del agua en el momento de su acción en la turbina. Las turbinas de reacción aprovechan además la presión estática al trabajar en el interior de compartimentos cerrados a presión superior a la atmosférica.

2.3.2.4 Central Mareomotriz

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas de atracción gravitatoria entre la Luna, la Tierra y el Sol. La energía mareomotriz es la que resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esta última

y del Sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable limpia.

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía. Otras formas de extraer energía del mar son: las olas, la energía undimotriz; de la diferencia de temperatura entre la superficie y las aguas profundas del océano, el gradiente térmico oceánico.

La energía de las mareas se transforma en electricidad en las denominadas centrales mareomotrices, que funcionan como un embalse tradicional de río. El depósito se llena con la marea y el agua se retiene hasta la bajamar para ser liberada después a través de una red de conductos estrechos, que aumentan la presión, hasta las turbinas que generan la electricidad (Figura 2.9). Sin embargo, su alto costo de mantenimiento frena su proliferación.

El lugar ideal para instalar un central mareomotriz es un estuario, una bahía o una ría donde el agua de mar penetre. La construcción de una central mareomotriz es sólo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja. El agua, al pasar por el canal de carga hacia el mar, acciona la hélice de la turbina y ésta, al girar, mueve un generador que produce electricidad. Cuando la marea sube, las compuertas del dique se abren y el agua ingresa en el embalse. Al llegar el nivel del agua del embalse a su punto máximo se cierran las compuertas. Durante la bajamar el nivel del mar desciende por debajo del nivel del embalse.

Cuando la diferencia entre el nivel del embalse y del mar alcanza su máxima amplitud, se abren las compuertas dejando pasar el agua por las turbinas.



Figura 2.9 Central Mareomotriz

2.3.2.5 Central Undimotriz

Se define a la energía undimotriz como aquella que es obtenida a través de la captación de la energía cinética contenida en el movimiento de las olas. Los primeros indicios de aprovechamiento del oleaje para la generación eléctrica datan del siglo XIX con la máquina “Marmotor”. Ésta funcionaba mediante una serie de boyas que subían y bajaban con las olas, transmitiendo el movimiento a unos generadores eléctricos. En la Figura 2.10 se ilustra un Marmotor.

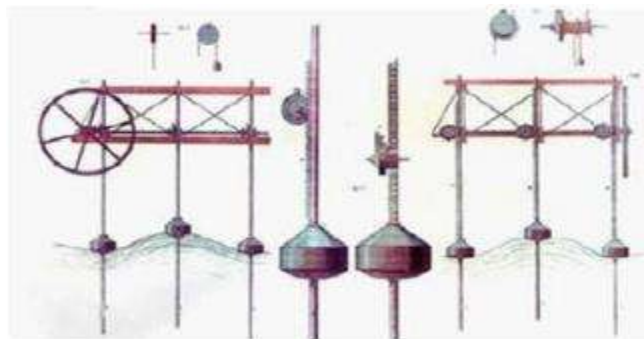


Figura 2.10 Marmotor

Se define como ola a todo tipo de oscilación en la superficie de agua que sea periódica. Entre las causas que generan esta oscilación se pueden encontrar el viento, fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol y movimientos tectónicos. Sin embargo, de todas ellas, probablemente es el viento el factor principal de generación de oleaje. Por ello se puede decir que la energía de las olas del mar es una manera indirecta de la energía solar, ya que el viento es generado por el calentamiento desigual de la superficie terrestre producto del Sol. Las olas se generan a partir de ondulaciones en las capas superficiales del mar debido al viento. Al crearse estas ondulaciones aumenta la superficie de contacto con el viento lo que genera más ondulaciones y eventualmente la formación de las olas que vemos comúnmente (Figura 2.11).

Las olas se caracterizan por tener:

- Longitud de onda (L): Distancia entre dos picos consecutivos.
- Altura de onda (H): Diferencia entre un pico y un valle.
- Periodo (T): Tiempo (en segundos) que tarda un valle o un pico de la ola en recorrer su longitud de onda.

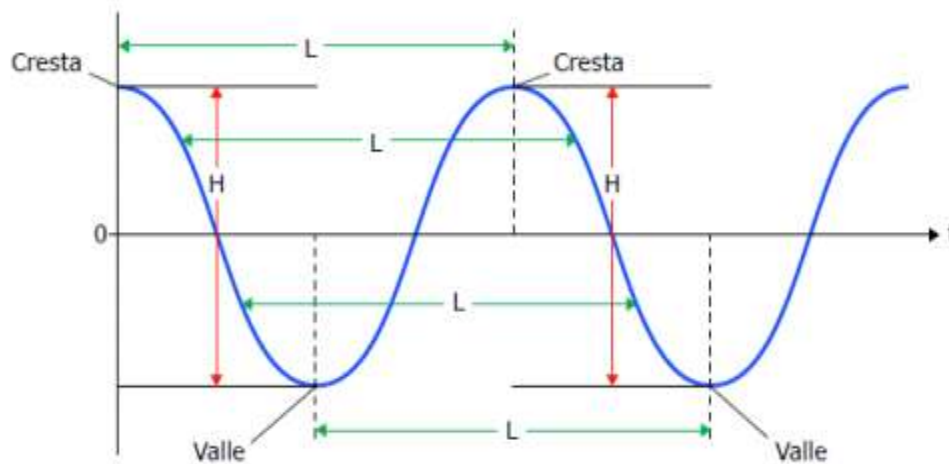


Figura 2.11 Características de Una Ola

El tamaño de una ola dependerá de tres factores:

- Velocidad del viento.
- Tiempo durante el cual éste está soplando.

- Distancia sobre el cual la energía del viento se transfiere al océano para formar olas.

En general al mirar el océano se tiende a pensar que una ola es una gran masa de agua que viaja a través de la superficie del mar. Pero para entender cómo se obtiene la energía undimotriz es necesario darse cuenta que no es así. Una ola es el movimiento de energía, pero el agua no se traslada horizontalmente, sino que solamente se mueve de arriba hacia abajo. Este comportamiento es similar al de una cuerda al hacerla oscilar. Por tanto, una ola no refleja un flujo de agua, si no que representa un flujo de energía desde su origen hacia una eventual rotura (puede ser tanto la costa como en medio del mar). De esta manera es posible aprovechar la energía de las olas de 2 maneras:

a) Energía Cinética

La superficie de los océanos está dada por las olas, sin embargo, para aprovechar la energía de éstas es necesario comprender que sucede bajo ellas. Las olas están constituidas por moléculas de agua que se mueven en forma circular. En la superficie del agua los movimientos son del mismo tamaño que la altura de ola, pero van disminuyendo a medida que se desciende por debajo de la superficie. Este movimiento circular cambia a elipsoidal a medida que las olas se van acercando a aguas más someras. Es éste movimiento circular (o elipsoidal dependiendo de la cercanía a la costa) el cuál puede ser aprovechado, directamente mediante hélices o indirectamente mediante dispositivos compuestos por columnas oscilantes de agua, para la generación eléctrica. En la Figura 2.12 se ilustra el movimiento de las moléculas de agua.



Figura 2.12 Movimiento de Moléculas de Agua

b) Energía Potencial

En su movimiento circular las moléculas de agua son elevadas encima de la línea inmóvil de la superficie del agua, lo que representa una energía potencial. La energía de las olas oceánicas es enorme. Incluso la fracción de la energía que es potencialmente explotable es muy grande comparada con el consumo actual de electricidad en el mundo. Se han realizado diversos estudios con el propósito de estimar el potencial mundial. Se estima que la energía mundial explotable es de 2TWh año, lo cual corresponde a un 10% de la demanda global. Las aguas de Europa son capaces de cubrir más del 50% del consumo total de potencia en dicho continente. Por otro lado, el potencial undimotriz en Chile es de 1600 TWh. Este potencial supera en 23 veces el consumo eléctrico en Chile, y corresponde al 9% de la demanda global (Garrad Hassam, 2009). La potencia P , en kW por metro de ancho de ola, contenida en una ola oceánica idealizada (onda solenoidal de amplitud constante, periodo y longitud de onda bien definidos) puede expresarse según la siguiente ecuación:

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32\pi} \left[\frac{kW}{m} \right]$$

Las olas con periodos largos (entre 7 y 10 s) y grandes amplitudes (del orden de 2 m) tienen un flujo de energía que normalmente excede los 40-50 kW por metro de ancho.

2.3.2.6 Biomasa

Se conoce como biomasa a toda materia orgánica de origen vegetal o animal, y a la obtenida a partir de esta mediante transformaciones naturales o artificiales. Las plantas y los animales a través de ellas, almacenan energía gracias a la fotosíntesis, que tiene lugar en presencia de la luz solar en combinación con agua, sales minerales y dióxido de carbono. Algunas fuentes de biomasa que se muestran en la Figura 2.13.

- Residuos Agrarios y Animales
- Residuos Forestales
- Residuos Industriales (Carpinterías)

- Cultivos Vegetales Concretos Para Este Fin.
- Residuos Sólidos Urbanos.

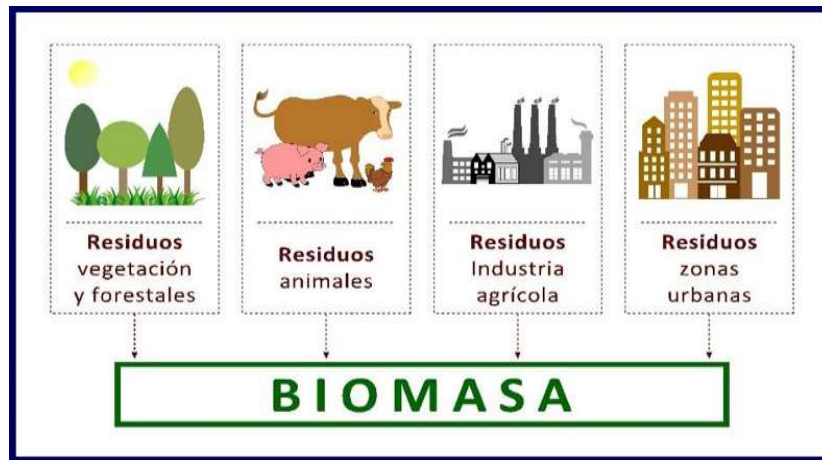


Figura 2.13 Biomasa

El tratamiento de la biomasa significa someterla a diferentes procesos que, en función del producto que queramos obtener, pueden ser:

- Procesos físicos:
 - Compactación o reducción de volumen para su tratamiento directo como combustible
 - Secado para realizar posteriormente un tratamiento térmico
- Procesos termoquímicos: Se trata de someter a la biomasa a temperaturas elevadas. Así se tiene:
 - Combustión directa de la biomasa con aire: al quemar la biomasa, se obtiene calor para producir vapor que mueva una turbina que arrastra un alternador que produce electricidad. También se aprovecha para calefacción. La biomasa debe ser baja en humedad.
 - Pirólisis: Consiste en un calentamiento sin la presencia de oxígeno. La materia orgánica se descompone, obteniendo productos finales más energéticos.

- Gasificación: Oxigenación parcial o hidrogenación, que permite la obtención de hidrocarburos
- Procesos bioquímicos: Ciertos microorganismos actúan sobre la biomasa transformándolos
 - Fermentación alcohólica (aerobia): Es el proceso de transformación de la glucosa en etanol por la acción de los microorganismos. El resultado es el bioalcohol, un combustible para vehículos. En Brasil, uno de cada tres vehículos funciona con etanol extraído de la caña de azúcar.
 - Fermentación anaerobia: Consiste en fermentar en ausencia de oxígeno y durante largo tiempo la biomasa. Origina productos gaseosos, que son principalmente metano y dióxido de carbono. Estos productos se suelen emplear en granjas para activar motores de combustión o calefacción
- Procesos químicos: En este caso en el proceso de transformación no intervienen microorganismos
 - Transformación de ácidos grasos: Consiste en transformar aceites vegetales y grasas animales en una mezcla de hidrocarburos mediante procesos químicos no biológicos para crear un producto llamado Biodiesel, que sirve de combustible. Como materia prima se emplean, principalmente cereales, trigo, soja, maíz. Tanto el bioalcohol, como el biogás y el biodiesel se llaman biocombustibles. En definitiva, las tres grandes aplicaciones de la biomasa son:
 - Para calefacción.
 - Para mover turbinas-generadores, es decir, para obtener energía eléctrica.
 - Como combustible de vehículos.[10]

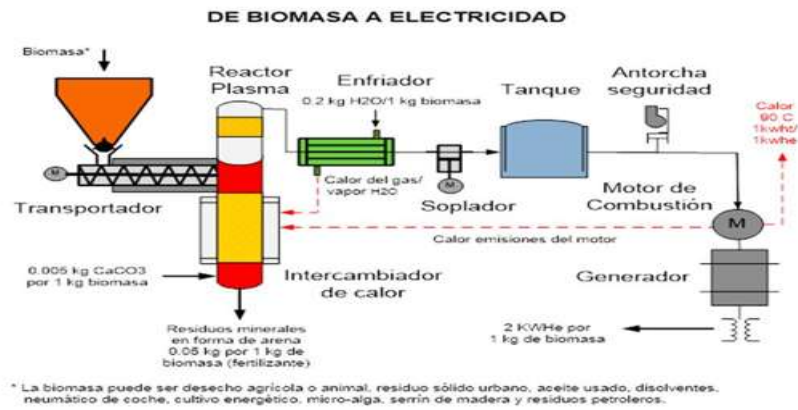


Figura 2.14 Generación de Energía eléctrica a Base de Biomasa

La Figura 2.14 ilustra el proceso de generación de energía eléctrica a base de biomasa.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION

3.1 Introducción

En este capítulo se diseña un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, el cuál está basado en paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas el cuál dará un suministro de energía eléctrica a un fraccionamiento en el cual las viviendas son de uso doméstico. Se hace un esquema de la distribución de las viviendas así como de los paneles fotovoltaicos y las turbinas eólicas.

3.2 Descripción del Sistema Típico a Suministrar Energía

El sistema a suministrar energía consiste en un fraccionamiento de 100 viviendas a las cuales les asignó una demanda máxima de 1 kW siendo así que tenemos que diseñar nuestro sistema de generación con capacidad de 100 kW . Se considera que nuestro sistema a diseñar es un sistema híbrido el cuál estará interconectado a la red suministradora de energía eléctrica en baja tensión 220/ 127 Volts. Dicho

Fraccionamiento es llamado “El Nuevo Huetamo” y se encuentra ubicado en la parte Noroeste del Municipio de Morelia, Michoacán.

3.3 Diseño del Sistema Fotovoltaico

El diseño del sistema consiste en determinar la magnitud de cada componente del sistema fotovoltaico, que son los siguientes:

- a) Páneles Fotovoltaicos:** Son los dispositivos que están formados por células fotovoltaicas que tienen la función de generar energía eléctrica a partir de la luz que incide sobre estos paneles debido al principio fotoeléctrico.
- b) Inversores:** Un inversor fotovoltaico es un convertidor que transforma la energía de corriente continua procedente del generador fotovoltaico en corriente alterna. Estos se subdividen en: inversores aislados e inversores conectados a la red. Para este estudio se usará un inversor conectado a la red de distribución de la compañía suministradora de energía eléctrica.
- c) Baterías:** Se denomina batería, a la batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada, en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo, o cátodo y un electrodo negativo, o ánodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función.
- d) Regulador o Controlador de Carga:** Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil.
- e) Conductores:** Son los encargados de transportar la energía eléctrica de un dispositivo a otro con las condiciones óptimas de operación.[1]

3.3.1 Cálculos de Paneles Fotovoltaicos

Debido a que el diseño del sistema de generación fotovoltaica es para un fraccionamiento que consta de 100 viviendas se hace el diseño primeramente para una vivienda, y se hace de la siguiente forma:

Tomando como referencia la medición del consumo promedio de energía eléctrica de una vivienda que registra 300 *kWh* se hacen los cálculos.

Se considera que la producción eléctrica del sistema fotovoltaico satisfaga el 75% del consumo total.

Ajustando la demanda promedio registrada por el porcentaje a satisfacer por el sistema fotovoltaico se hace lo siguiente:

$$E_{ajustada} = 300 \times 0.75 = 225 \text{ kWh bimestral}$$

Para obtener el requerimiento diario se divide entre los días de la facturación que son 60 días:

$$E_{ajustada} = \frac{225 \text{ kWh}}{60 \text{ días}} = 3.75 \text{ kWh}$$

Identificando el número de horas de sol pico para planos inclinados se consulta la tabla 3.1, considerando Morelia el lugar donde se situará el Fraccionamiento con el sistema fotovoltaico se tienen 6.13 $h_{sol-pico}$.

Tabla 3.1 Horas de sol pico por día para la República Mexicana

Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*			Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		
			Hor	Inc					Hor	Inc	
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10		Nayarit	Tepic	21.51	6.06	6.42	
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76		Nuevo León	Monterrey	25.70	5.17	5.43	
	Mexicali	32.65	5.96	6.81		Oaxaca	Oaxaca	17.06	4.88	5.01	
	Tijuana	32.54	5.96	6.79		Puebla	Puebla	19.06	5.22	5.44	
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89		Querétaro	Querétaro	20.61	5.57	5.87	
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80		Quintana Roo	Cancún	21.16	6.01	6.32	
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16			Chetumal	18.51	5.85	6.09	
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00		San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85	
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52		Sinaloa	Cullacán	24.82	6.05	6.52	
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41			Los Mochis	25.80	6.35	6.84	
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86			Mazatlán	23.20	6.04	6.47	
	Torreón	25.53	5.96	6.37		Sonora	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89	
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30			Hermosillo	29.07	6.22	6.81	
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36		Tabasco	Villahermosa	18.00	5.36	5.50	
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36		Tamaulipas	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38	
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09			Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19	
	León	21.11	5.75	6.07			Tampico	22.21	5.05	5.23	
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52		Tlaxcala	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29	
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43		Veracruz	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00	
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17			Orizaba	18.85	4.64	4.76	
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24			Veracruz	19.20	4.56	4.66	
México	Toluca	19.28	5.77	6.09			Xalapa	19.50	4.71	4.84	
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13		Yucatán	Mérida	20.97	5.94	6.23	
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07		Zacatecas	Zacatecas	22.77	5.86	6.21	

Hor = Plano horizontal Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente
 *De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Enseguida se calcula la capacidad requerida a instalar de paneles fotovoltaicos considerando que no hay pérdidas:

$$Cap_{sin-perdidas} = \frac{3.75 \text{ kWh}}{6.13 h_{sol-pico}} = 0.611 \text{ kWp}$$

Considerando un factor para compensar pérdidas se divide la Capacidad a instalar entre 70 %:

$$Cap_{con-perdidas} = \frac{3.75 \text{ kWh}}{6.13 h_{sol-pico} \times 0.70} = 0.870 \text{ kWp} \rightarrow \textbf{870 Watts - pico}$$

La capacidad a instalar de paneles fotovoltaicos será de 870 Wattspico.

Se ajustará al valor comercial del panel seleccionado que es el siguiente:

De acuerdo a información de la Ficha Técnica se tiene la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Datos Técnicos del panel

Panel Solartec S60PC-250	
Pmax	250 W
Voltaje en Circuito Abierto	37.85 V
Voltaje de Operación Máxima	30.12 V
Corriente de Cortocircuito	8.65 A
Corriente de Operación Máxima	8.3 A
Eficiencia	15.29 %
Dimensión	164x99.2 cm
Peso	23.5 Kg.
Espesor	40 mm.

Calculando el número de paneles

$$\#Modulos = \frac{870\text{ W}}{250\text{ W}} = 3.48 \cong 4\text{ Paneles}$$

Entonces nuestro sistema de paneles ajustado al valor comercial suministra 1000 Watts ya que son 4 de 250 W cada uno. En la Figura 3.1 se muestra el arreglo de los 4 paneles.

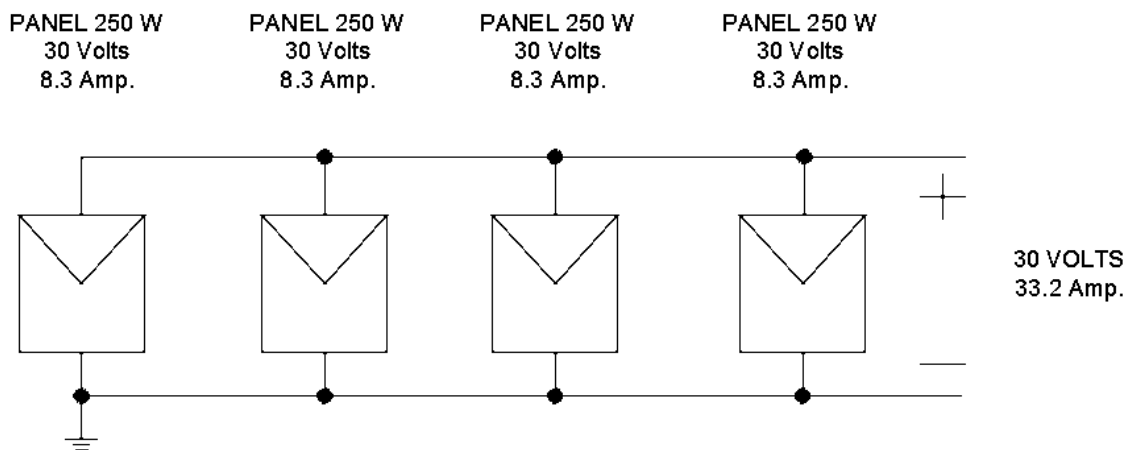


Figura 3.1 Arreglo de Páneles Fotovoltaicos para 1 Vivienda

Considerando así que se tienen 100 viviendas, entonces la capacidad a instalar de paneles fotovoltaicos para satisfacer la demanda completa será de 400 paneles, los cuales dividiré en 4 secciones, se tendrán 4 inversores de 25 kW cada uno. Se considera que la inclinación de los paneles sea la latitud del lugar por lo tanto será de 19.71° inclinación. En la Figura 3.2 se muestra un panel solar con la inclinación adecuada.

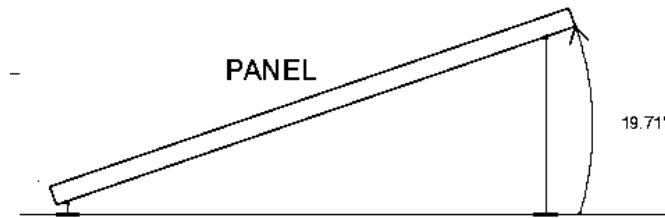


Figura 3.2 Inclinación del Panel Solar

3.3.2 Cálculo del Inversor o Convertidor

Considerando una demanda de 870 Wattspico pero ajustando a 1000 Wattspico ya que será la máxima potencia que se puede suministrar por los paneles por vivienda se hace el cálculo del inversor considerando las 100 viviendas y considerando una eficiencia del inversor del 90%.

Se tiene entonces que la potencia total a instalar será:

$$Pot_{Instalar-Total} = 1000Watts \times 100 Viviendas = 100kW$$

Dividido en 4 secciones se tendrá que instalar un inversor para cada sección.

$$Pot_{seccion} = \frac{100kW}{4} = 25 kW$$

$$P_{inversor} = \frac{25 kW}{0.9} = 27.77 kW$$

Se propone instalar 4 inversores de 27 kW. En la Figura 3.3 se muestra un inversor que tiene la capacidad de ser interconectado a la red de distribución.



Figura 3.3 Inversor para Interconexión a la red

3.3.3 Controlador de Carga

Se considera que se tiene 4 paneles de 250 watts y en total 1000 watts y que las baterías a utilizar son de 12 Volts por lo tanto dividiendo la potencia total entre la tensión de las baterías se tiene una corriente de $83.33 \text{ A} \times 1.25 = 104.16 \text{ A}$

El controlador será de 100 A.

3.3.4 Baterías o Acumuladores

La batería debe tener una capacidad de 4 veces el consumo total en Wh. La capacidad de la batería en amperes-hora (Ah) que es la energía acumulada de la batería (Wh) dividido por el voltaje en volts de la batería.

Bateria: 12 Volts de 330 Ah

$$4 \geq \frac{Pot_{Baterias}}{3750Wh} \rightarrow Pot_{Baterias} = 3750Wh \times 4 = 15000 \text{ Wh del conjunto de baterias.}$$

$$Pot_{Baterias} = \frac{15000 \text{ Wh}}{12 \times 330 \text{ Wh}} = 3.78 \cong 4 \text{ Baterias}$$

El cálculo anterior del controlador y baterías sólo se considera para la instalación de paneles fotovoltaicos a una vivienda, nuestro enfoque es que se tendrá una

generación híbrida interconectada a la red de suministro con capacidad de suministrar energía a 100 viviendas, por lo tanto, la colocación de baterías no se considera en el diseño final.

3.3.5 Conductores

Los conductores que se utilizarán serán los adecuados para uso exterior y que tengan la capacidad de soportar la radiación del sol. Se debe de respetar la siguiente caída de tensión entre los conductores que interconecten a los equipos y dispositivos. Las caídas de tensión que son permitidas en el sistema fotovoltaico se describen en la tabla 3.3:

Tabla 3.3 Caídas de tensión.

<i>ENVIO</i>	<i>RECIBE</i>	<i>%e</i>
Panel	Regulador	3%
Regulador	Inversor	1%
Panel	Inversor	3%

Para líneas principales se considera 3% en caída de la tensión tolerable.

La fórmula que se utilizará para hacer estos cálculos de conductores es la siguiente:

$$\%e = \frac{2 * L * I}{S * K}$$

Donde:

L → Distancia del conductor en metros.

S → Sección transversal del conductor seleccionado en mm².

K → Constante del cobre = $\frac{56 * m}{\text{Ohm} * \text{mm}^2}$,

mientras que el conductor de aluminio tiene una constante de $\frac{35 * m}{\text{Ohm} * \text{mm}^2}$

I → Corriente en Amperes.

La corriente se calculará en base a la potencia a manejar y a la tensión de operación nominal de los inversores, se calcula de la siguiente forma.

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

P → Potencia en watts.

V → Tension en volts(120 volts).

I → Corriente en amperes.

El artículo 690 de la NOM-001-SEDE-2012 hace las siguientes recomendaciones para conductores de sistemas fotovoltaicos:

- a) Capacidad de conducción de corriente eléctrica y dispositivos de protección contra sobrecorriente: La capacidad de conducción de corriente eléctrica de los conductores y la especificación o ajuste de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no deben ser menores a 125% de la corriente eléctrica calculada.
- b) Cable con conductor dúplex: Se permite cable TWD-UV en circuitos de la fuente fotovoltaica, cuando se instalen a la intemperie o expuestos a los rayos del sol.[2]

3.4 Diseño del Sistema Eólico

Para el diseño del sistema eólico se considera que se instalarán 4 turbinas eólicas las cuales estarán separadas por sección al sistema fotovoltaico, la capacidad a instalar de las turbinas es de 10 kW por cada turbina.

3.4.1 Tipos de Generadores

3.4.1.1 Según el Eje de Giro del Rotor

a) **Eje vertical:** Sus principales ventajas son que no necesita un sistema de orientación al ser omnidireccional y que el generador, multiplicador, etc., son instalados a ras de suelo, lo que facilita su mantenimiento y disminuyen sus costes

de montaje. Sus desventajas frente a otro tipo de aerogeneradores son sus menores eficiencias, la necesidad de sistemas exteriores de arranque en algunos modelos, y que el desmontaje del rotor por tareas de mantenimiento hace necesaria que toda la maquinaria del aerogenerador sea desmontada.

-Aerogenerador con rotor Savonius: Es el modelo más simple de rotor, consiste en cilindros huecos desplazados respecto su eje, de forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento, ofreciendo su parte convexa una menor resistencia al giro. Se suele mejorar su diseño dejando un espacio entre ambas caras para evitar la sobre presión en el interior de la parte cóncava. Pueden construirse superponiendo varios elementos sobre el eje de giro. Este tipo de aerogenerador se muestra en la Figura 3.4.

No son útiles para la generación de electricidad debido a su elevada resistencia al aire. Su bajo coste y fácil construcción les hace útiles para aplicaciones mecánicas.



Figura 3.4. Aerogenerador Tipo Savonius

-Aerogenerador con rotor Darrieus: Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, es el modelo de los aerogeneradores de eje vertical de más éxito comercial. Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y similar a las alas de un avión, el modelo de curva utilizado para la unión de las palas entre los extremos del rotor es el de Troposkien, aunque puede utilizarse también catenarias. Evita la necesidad de diseños complejos en las palas como los necesarios en los generadores de eje horizontal, permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque. Se muestra este tipo de aerogenerador en la Figura 3.5.

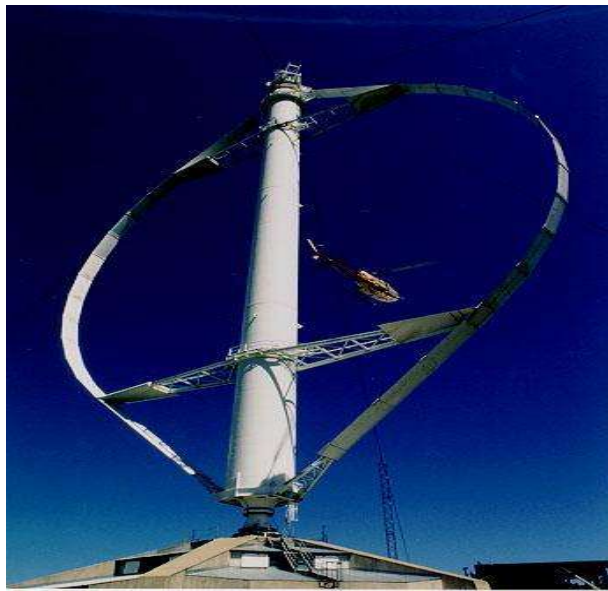


Figura 3.5. Aerogenerador con rotor Darrieus

-Aerogenerador con rotor Giromill: Este tipo de generadores también fueron patentados por G.J.M. Darrieus. Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento. Este tipo de aerogenerador se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6. Aerogenerador con rotor Giromill

-Aerogenerador con rotor Windside: Es un sistema similar al rotor Savonius, en vez de la estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, consiste en un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, que le acerca a las eficiencias de los aerogeneradores de eje horizontal. Este tipo de aerogenerador se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Aerogenerador con rotor Windside

b) Eje horizontal: En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se construyen conectados a red son tripalas de eje horizontal. Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro, además debido a la construcción elevada sobre torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura.

Los modelos de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado, por la orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada:

-Tripala: Es el más empleado en la actualidad, consta de 3 palas colocadas formando 120° entre sí. Un mayor número de palas aumenta el peso y coste del aerogenerador, por lo que no se emplean diseños de mayor número de palas para fines generadores de energía de forma comercial, aunque si para fines mecánicos como bombeo de agua etc. Un aerogenerador tipo tripala se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.8. Aerogenerador Tipo Tripala

-Bipala: Ahorra el peso y coste de una de las palas respecto a los aerogeneradores tripala, pero necesitan mayores velocidades de giro para producir la misma energía que aquellos. Para evitar el efecto desestabilizador necesitan de un diseño mucho más complejo, con un rotor basculante y amortiguadores que eviten el choque de las palas contra la torre. En la Figura 3.9 se muestra un aerogenerador tipo bipala.



Figura 3.9. Aerogenerador Tipo Bipala

-Monopala: Tienen, en mayor medida, los mismo inconvenientes que los bipala, necesitan un contrapeso en el lado opuesto de la pala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo. Un aerogenerador tipo monopala se muestra en la Figura 3.10.



Figura 3.10. Aerogenerador Tipo Monopala

-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, el cual se muestra en la Figura 3.11.

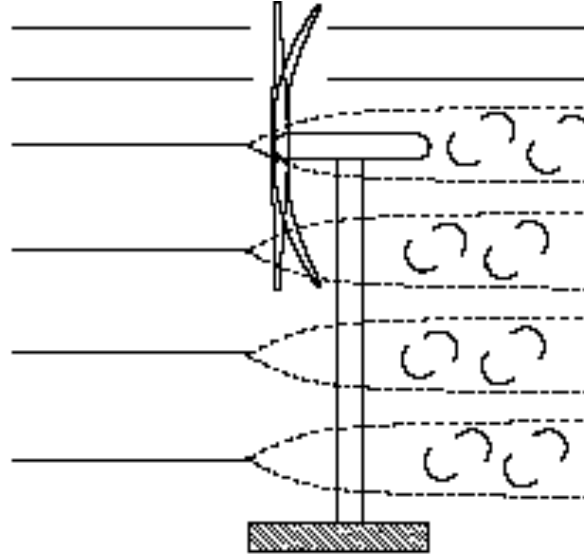


Figura 3.11. Aerogenerador Tipo Barlovento

-Torres de celosía: Son las construidas mediante perfiles de acero unidos mediante tornillería. Son muy baratas y fáciles de construir pero necesitan de verificaciones periódicas de la correcta sujeción de los segmentos de acero entre sí. Necesitan un emplazamiento extra para la instalación de los equipos de suelo como sistemas de control o equipos eléctricos, el acceso a la góndola se realiza por escalerillas exteriores de baja protección frente a fuertes vientos y condiciones climáticas adversas. No se utilizan en zonas geográficas septentrionales o para aerogeneradores de gran potencia. En la Figura 3.12 se muestra un aerogenerador tipo torre de Celosía.



Figura 3.12. Aerogenerador Tipo Torre de Celosía

-Torres tubulares: Consisten en grandes tubos de acero de forma tubular o cónica que ofrecen en su interior espacio para los equipos de suelo y para el acceso a resguardo hacia la góndola. Necesitan de una instalación más laboriosa y cara, pero ofrecen una mayor resistencia y menos mantenimiento necesario que las torres de celosía. Son las más empleadas en equipos de generación de energía. En la Figura 3.13 se muestra un aerogenerador tipo torre tubular.[5]



Figura 3.13. Aerogenerador Tipo Torre Tubular

3.4.2 Calculo de la potencia del viento

Considerando una velocidad del viento de 4.5 m/s para el lugar donde se colocarán las turbinas eólicas que es Morelia Mich. Se hacen los cálculos de la potencia que suministrara al sistema la turbina eólica.

De acuerdo a la velocidad del viento, al diámetro del rotor de la turbina podemos calcular la potencia en watts sin considerar pérdidas eléctricas, mecánicas. La fórmula a utilizar para calcular la potencia del viento sin considerar las pérdidas es la siguiente:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2$$

Donde:

$P \rightarrow$ Potencia en Watts.

$\rho \rightarrow$ densidad del aire seco ($1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$).

$v \rightarrow$ Velocidad del aire en m/seg.

$\pi \rightarrow$ constante pi 3.1416.

$r \rightarrow$ radio del rotor en m.

Para el generador que se considera instalar en este estudio se tiene la siguiente potencia:

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{1.225 \text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{4.5 \text{m}}{\text{seg}} \right)^3 \pi (4\text{m})^2 = \mathbf{2805 \text{ Watts}}$$

3.4.3 Calculo de la potencia aprovechable

Debido a que el rotor del aerogenerador no es capaz de captar toda la potencia del viento se considera un coeficiente de potencia el cual sirve para considerar el rendimiento del rotor eólico. En este estudio consideramos un coeficiente de Betz. Este límite viene dado por la incapacidad del rotor de convertir toda la energía

cinética del viento en energía mecánica. Las posteriores limitaciones constructivas de la máquina (pérdidas mecánicas o eléctricas) hacen que el valor práctico de C_p esté en el mejor de los casos en 0.5. Por lo tanto la máxima potencia que puede extraer un aerogenerador del aire está dada por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 C_p$$

Donde:

$P \rightarrow$ Potencia en Watts.

$\rho \rightarrow$ densidad del aire seco ($1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$).

$v \rightarrow$ Velocidad del aire en m/seg.

$\pi \rightarrow$ constante pi 3.1416.

$r \rightarrow$ radio del rotor en m.

$C_p \rightarrow$ coeficiente de pérdidas (0.5).

Para el generador que se considera instalar en este estudio se tiene la siguiente potencia:

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{1.225 \text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{4.5 \text{m}}{\text{seg}} \right)^3 \pi (4 \text{m})^2 (0.5) = \mathbf{1402 \text{ Watts}}$$

Por lo que tendríamos 1.402 kW teniendo una velocidad del viento de 4.5 m/s. al variar esta velocidad también variará la potencia que genere la turbina, considerando que el viento se tiene 8 horas del día tendríamos 11,216 kWh. El inversor que se propone instalar para la etapa de generación eólica es un inversor ABB de 12.5 kW como el que se muestra en la Figura 3.14.[4]



Figura 3.14. Inversor para la turbina eólica

Tabla 3.4. Características de la Turbina eólica a utilizar

Especificaciones para Aerogenerador Aeolos 10kw	
Potencia Nominal	10 kw
Máxima Potencia de Salida	13 kw
Generador	Generador de Impulsión Directa Magnético Permanente
Número de Palas	3 Palas de Fibra de Vidrio
Diámetro del Rotor de Palas	8 m (26.2 pies)
Velocidad de Arranque del Viento	3.0 m/s (6.7 mph)
Velocidad Nominal del Viento	10 m/s (22.3 mph)
Velocidad de Supervivencia del Viento	45 m/s (100.7 mph)
Controlador	PLC Con Pantalla Táctil
Sistema de Seguridad	Control de Orientación, Freno Eléctrico y Freno Hidráulico
Peso de Turbina	420 kg (925.9 lbs)
Ruido	45 db(A) @ 5m/s
Rango de Temperatura	-20°C a +50°C

En la tabla 3.4 se muestra las características del aerogenerador que se utiliza para el diseño del sistema de generación eólica la cual dará suministro de energía

eléctrica al fraccionamiento. Se considera instalar 4 aerogeneradores de este tipo distribuidos en la zona para que su aportación sea la más óptima.

3.4.4 Cálculo de protecciones para el sistema completo de generación

El cálculo de protecciones se hace en base a las características nominales de cada equipo tales como: Inversores y Transformador, se toma como referencia a la NOM-001-SEDE-2012. Se hace el cálculo para una sección de generación ya que se cuenta con cuatro secciones idénticas, los inversores son de 27 y 10 kW así como una carga de 25 kW y el transformador de distribución de 30 kVA que se conecta a la red de distribución en 13200 Volts para esta región de Morelia, Mich.

Cálculo de protecciones para el inversor de la sección de paneles fotovoltaicos:

$$I_n = \frac{KW}{\sqrt{3}xV_{ff}} = \frac{27kW}{\sqrt{3}x0.22kV} = 70.85 A$$

Debido a que la máxima generación que se tendrá es de 25 kW ajustamos la protección del inversor a 70 A. El interruptor Termomagnético será de 3X70 A.

Cálculo de protección para el inversor de la turbina eólica:

$$I_n = \frac{KW}{\sqrt{3}xV_{ff}} = \frac{10kW}{\sqrt{3}x0.22kV} = 26.24 A$$

El Interruptor Termomagnético para el inversor de la turbina eólica será de 3X30 A, ya que es el inmediato superior valor comercial.

Cálculo de protección para la carga de las 25 viviendas:

$$I_n = \frac{KW}{\sqrt{3}xV_{ff}} = \frac{25kW}{\sqrt{3}x0.22kV} = 65.60 A$$

El Interruptor Termomagnético para el inversor de la turbina eólica será de 3X70 A, siendo este valor el inmediato superior valor comercial.

Cálculo de la protección del transformador de distribución:

En Baja Tensión.

$$I_n = \frac{KW}{\sqrt{3}xV_{ff}} = \frac{30kW}{\sqrt{3}x0.22kV} = 78.72 A$$

El Interruptor Termomagnético para el transformador en baja tensión teniendo una tensión de 220 Volts de fase a fase será de 3X100 A.

En Alta Tensión.

$$I_n = \frac{KW}{\sqrt{3}xV_{ff}} = \frac{30kW}{\sqrt{3}x13.2kV} = 1.31 A$$

Para la selección del fusible tomamos como referencia a la tabla 450-3(a) de la NOM-001-SEDE-2012, seleccionamos un lugar supervisado y nos indica que para un fusible podemos tener un ajuste máximo del 300%, seleccionamos el 150%.

$$I_{Fusible} = 1.31 A \times 1.5 = 1.95 A$$

Seleccionamos un Fusible de 2 A norma K. Se utiliza fusible ya que es más económico a tener un interruptor Termomagnético de 2 A con un aislamiento de 13200 Volts, además que no los hay por las razones anteriores.[7]



Figura 3.15. Fusible para el lado de alta tensión del transformador de distribución



Figura 3.16. Interruptor Termomagnético para el lado de baja tensión del transformador de distribución e inversores así como la carga

3.4.5 Diseño Completo del Sistema de Generación

El sistema completo de generación es el que se ilustra en la Figura 3.17.

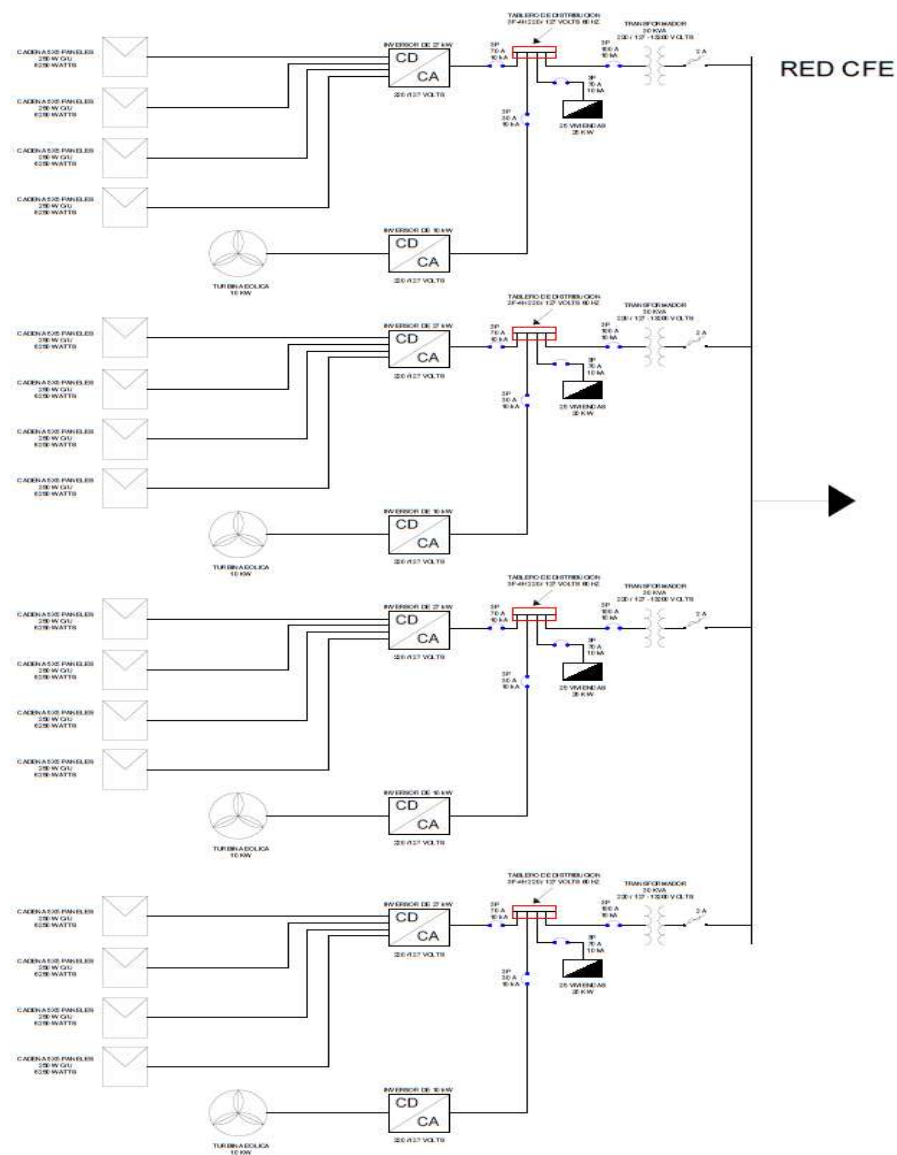


Fig.3.17 Sistema Híbrido Solar-Eólico

En el cuál se comprende la parte de paneles fotovoltaicos y la turbina eólica así como su interconexión a la red de distribución.

CAPÍTULO 4

ANALISIS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACION

4.1 Introducción

En este capítulo se hace un análisis del sistema de generación que se plantea en el capítulo anterior, plantear varios posibles escenarios que se puede tener tanto de generación como demanda de energía eléctrica la cual será demandada por el conjunto de viviendas que pertenecen al fraccionamiento. El análisis se hace para identificar posibles mejoras al sistema para que se tenga el menor consumo de energía eléctrica a la empresa suministradora que en este caso es la CFE.

4.2 Comparativa de Potencia Generada vs Potencia Demandada

La generación de energía eléctrica está basada en un sistema híbrido el cual está basado en un subsistema de generación con paneles fotovoltaicos y un subsistema de generación con turbinas eólicas. El objetivo del sistema completo de generación es tener un sistema interconectado al sistema eléctrico de distribución de la empresa que suministra energía que es la CFE de tal forma que regule el consumo

dinámico ya que se considera que se tendrán escenarios en los cuales habrá máxima, típica y mínima generación, esto se tendrá debido a los cambios de generación y demanda que son a consecuencia de los cambios en la curva de demanda y cambios de velocidad de viento e incidencia solar, aunque lo ideal fuera que no se consumiera energía eléctrica del sistema de distribución de CFE, se presentan diferentes escenarios que se muestran a continuación.

4.3 Escenario de Generación máxima de energía solar y generación nula de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = Max;$
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = 0;$
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar;$

Considerando que se tiene una máxima generación en los pán­eles solares se tiene una generación de 100 kW y planteando una nula generación por las turbinas eólicas se tendría entonces un sistema autónomo ya que la generación de los pán­eles solares suministraría la energía que demandaría todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento, este escenario se muestra en la figura 4.1 y su gráfica en la figura 4.2.

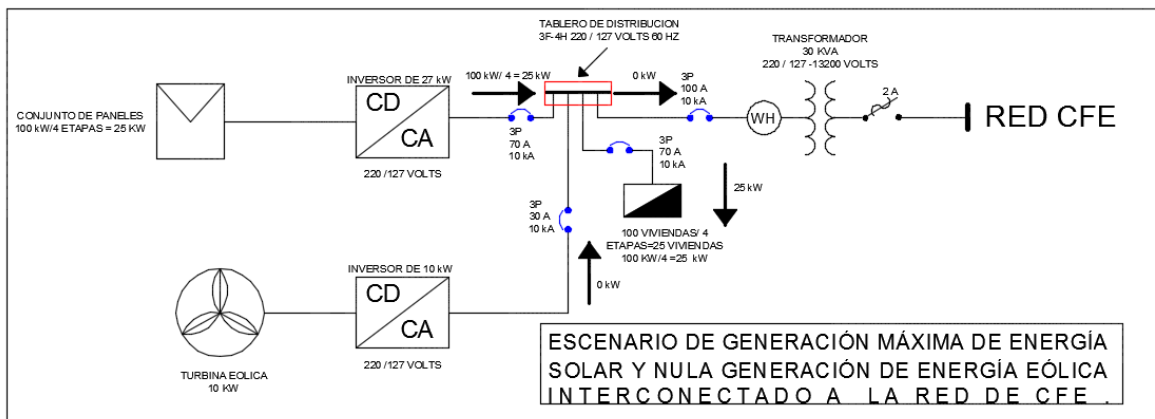


Figura 4.1. Escenario de Generación máxima de energía solar y nula de generación eólica

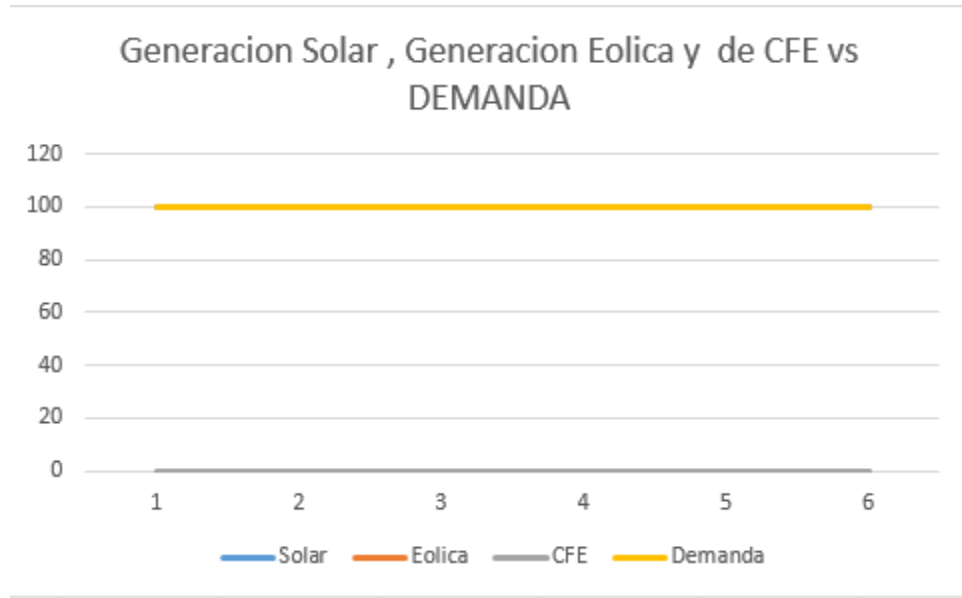


Figura 4.2. Escenario de generación máxima de energía solar y generación nula de energía eólica

4.4 Escenario de Generación típica de energía solar y generación nula de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = Tipica;$
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = 0;$
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar;$

Considerando que se tiene una típica generación en la cual los paneles solares tienen una generación de 40 kW y planteando una nula generación por las turbinas eólicas se tendría entonces un consumo a la red de distribución de la compañía suministradora de 60 KW para satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.3 y su gráfica en la figura 4.4.

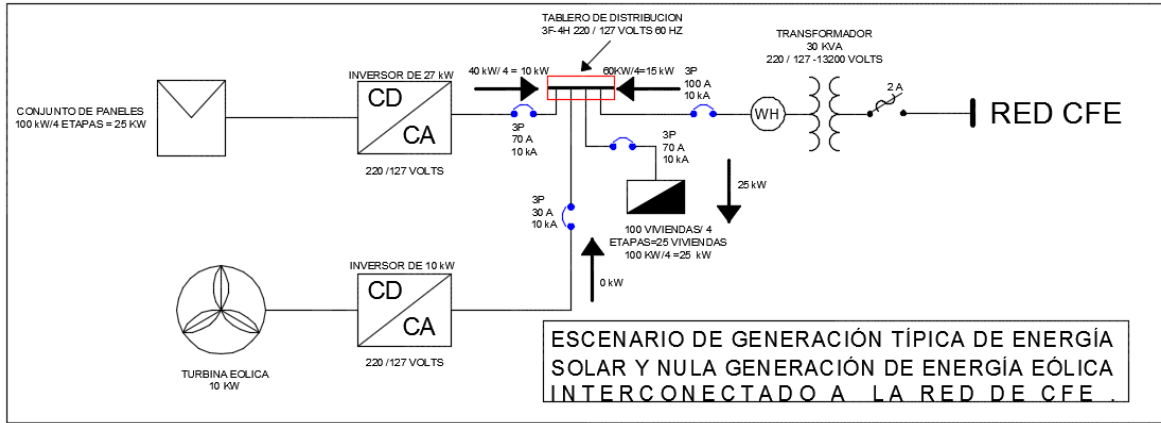


Figura 4.3. Escenario de Generación típica de energía solar y nula de generación eólica.

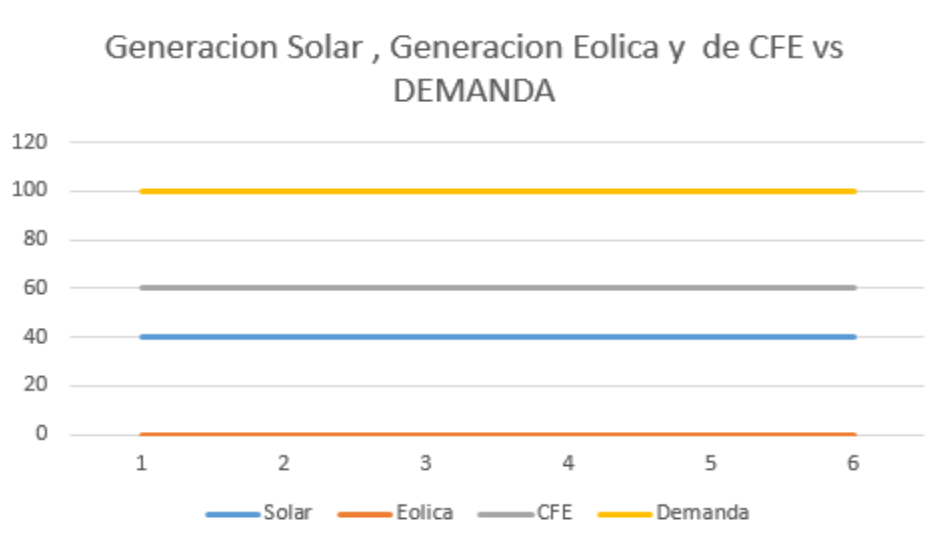


Figura 4.4. Escenario de generación típica de energía solar y generación nula de energía eólica

4.5 Escenario de Generación máxima de energía solar y generación máxima de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = Max;$
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = Max;$
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar;$

Considerando que se tiene una máxima generación en la cual los paneles solares tienen una generación de 100 kW y planteando una máxima generación por las turbinas eólicas de 40 kW se tendría entonces una inyección de potencia a la red de distribución de la compañía suministradora de 40 kW total y por cada etapa sería 10 kW, el sistema de generación eólico y solar en esta condición puede satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.5. y su gráfica en la figura 4.6.

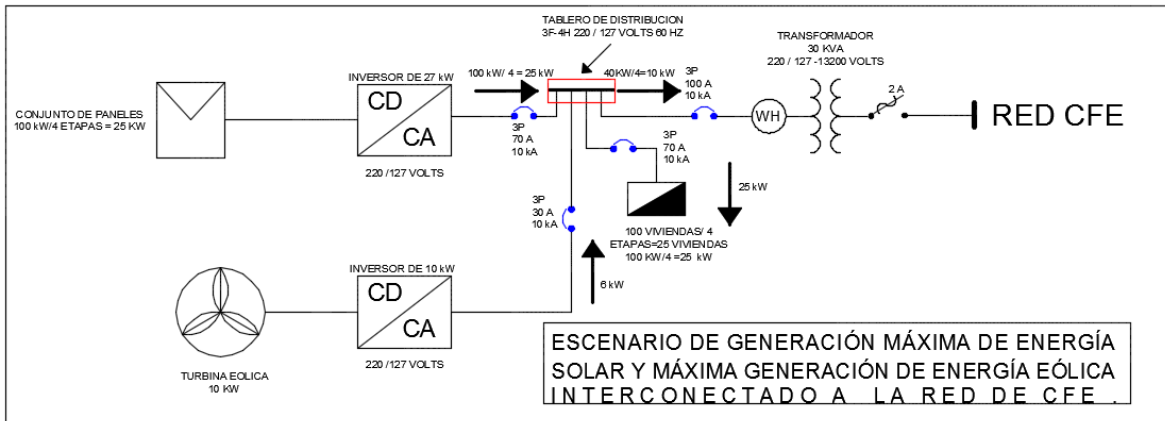


Figura 4.5. Escenario de Generación máxima de energía solar y máxima de generación eólica

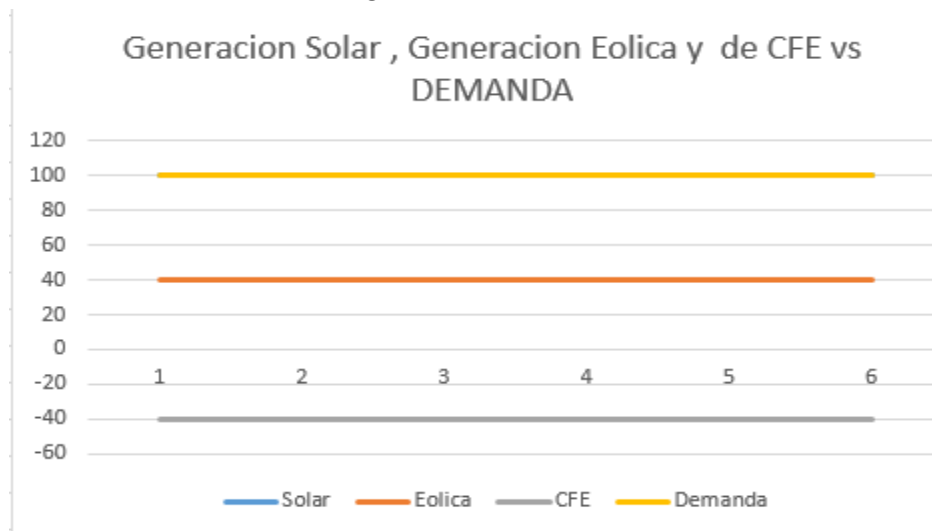


Figura 4.6. Escenario de generación máxima de energía solar y generación máxima de energía eólica

4.6 Escenario de Generación máxima de energía solar y típica de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = Max;$
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = T\acute{i}pica;$
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar;$

Considerando que se tiene una máxima generación en la cual los pán­eles solares tienen una generación de 100 kW y planteando una típica generación por las turbinas eólicas de 24 KW considerando un aprovechamiento del viento del 60% se tendría entonces una inyección de potencia a la red de distribución de la compañía suministradora de 24 KW total y por cada etapa sería 6 KW, el sistema de generación eólico y solar en esta condición puede satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.7 y gráfica en la figura 4.8.

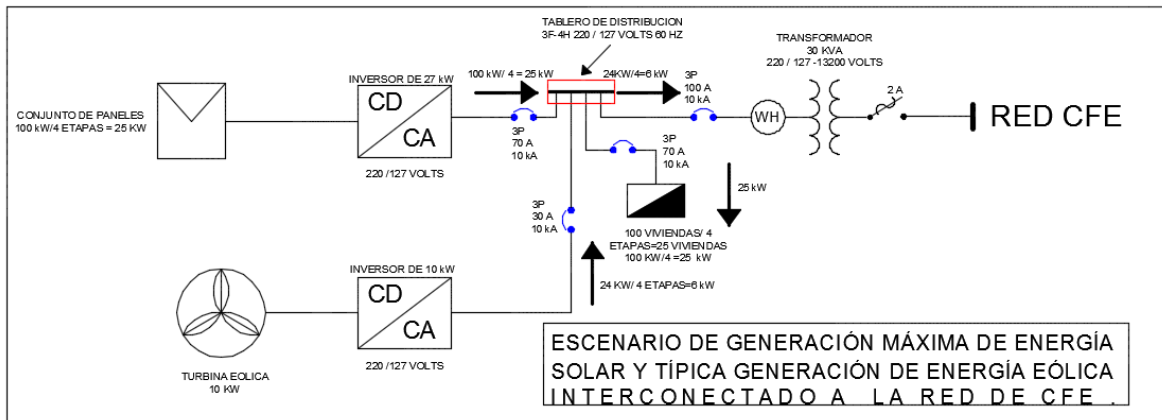


Figura 4.7. Escenario de Generación máxima de energía solar y típica de generación eólica

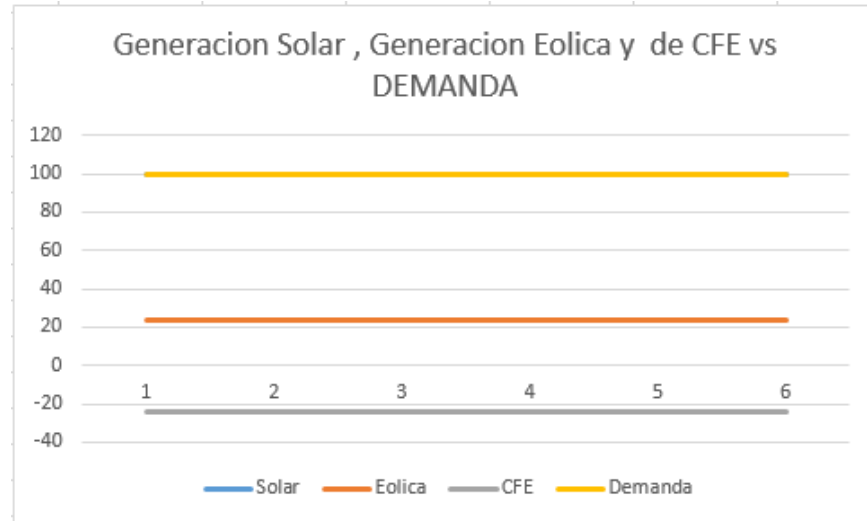


Figura 4.8. Escenario de generación máxima de energía solar y generación típica de energía eólica

4.7 Escenario de Generación típica de energía solar y típica de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = T\acute{i}pica;$
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = T\acute{i}pica;$
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar;$

Considerando que se tiene una típica generación en la cual los paneles solares tienen una generación de 40 kW y planteando una típica generación por las turbinas eólicas de 24 KW considerando un aprovechamiento del viento del 60% se tendría entonces un consumo de potencia de la red de distribución de la compañía suministradora de 36 KW total y por cada etapa sería 6 KW, el sistema de generación eólico y solar en esta condición no puede satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.9 y su gráfica en la figura 4.10.

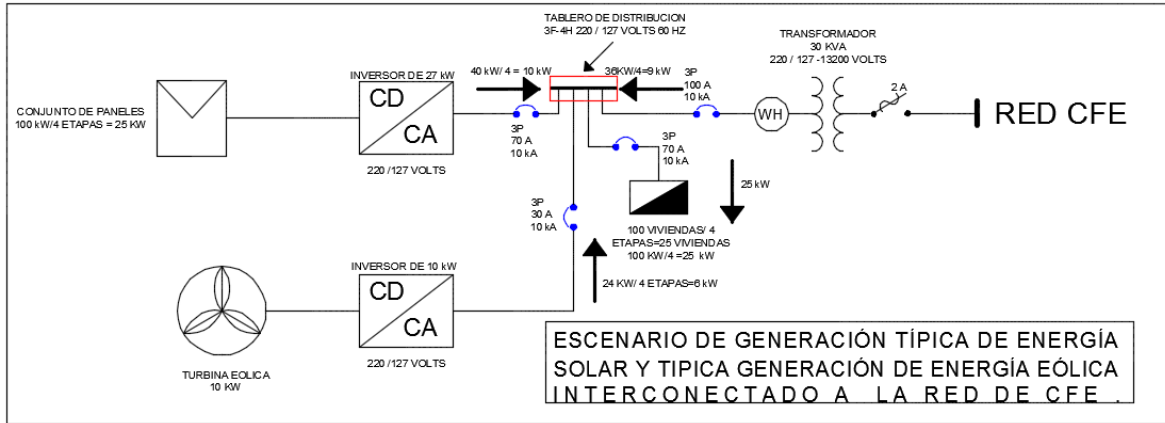


Figura 4.9. Escenario de Generación típica de energía solar y típica de generación eólica

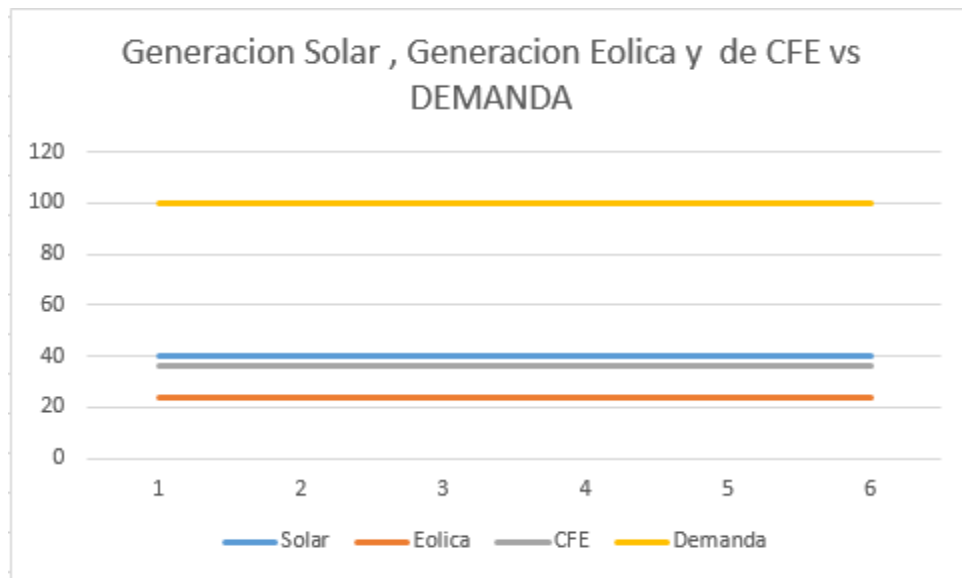


Figura 4.10. Escenario de generación típica de energía solar y generación típica de energía eólica

4.8 Escenario de Generación típica de energía solar y máxima de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = Tipica;$

- $Potencia_{eólica} = Max;$
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar;$

Considerando que se tiene una típica generación en la cual los paneles solares tienen una generación de 40 kW y planteando una máxima generación por las turbinas eólicas de 40 kW se tendría entonces un consumo de potencia de la red de distribución de la compañía suministradora de 20 KW total y por cada etapa sería 5 KW, el sistema de generación eólico y solar en esta condición no puede satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.11 y su gráfica en la figura 4.12.

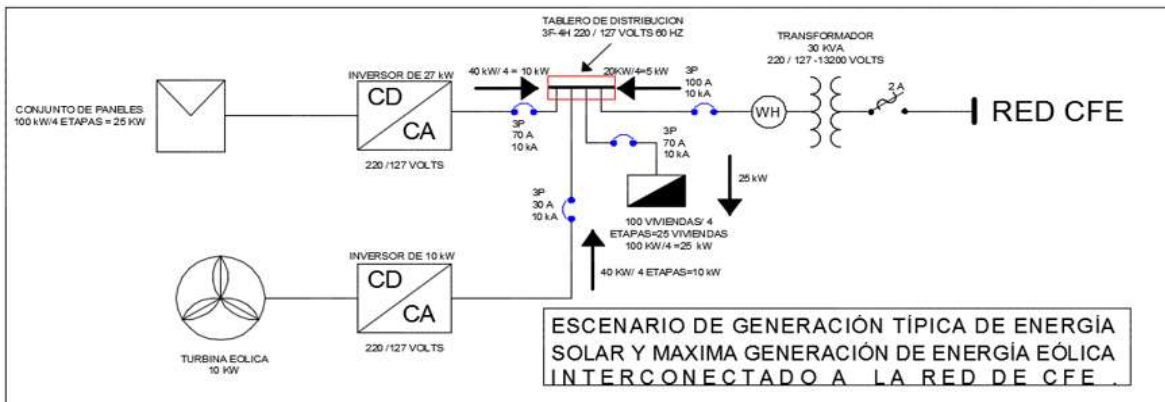


Figura 4.11. Escenario de Generación típica de energía solar y máxima de generación eólica

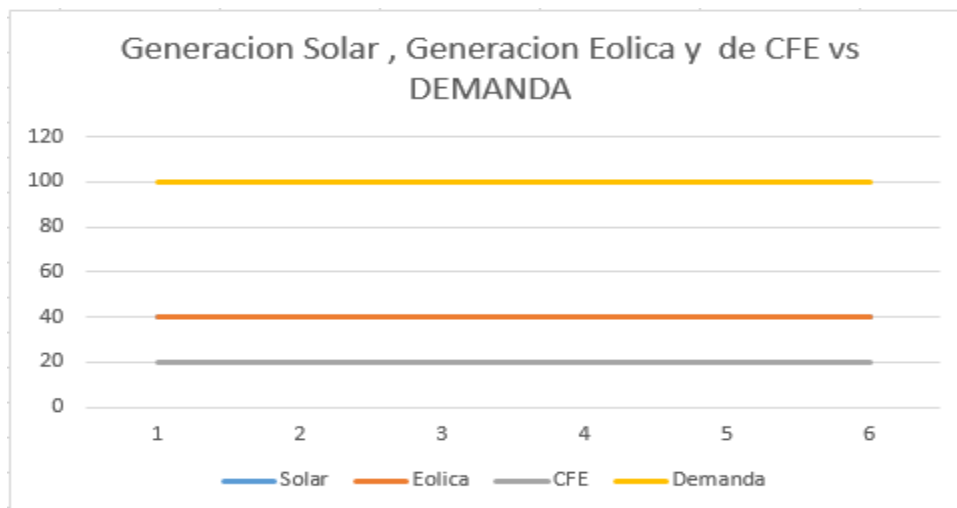


Figura 4.12. Escenario de generación típica de energía solar y generación máxima de energía eólica

4.9 Escenario de Generación nula de energía solar y máxima de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = 0$;
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = Max$;
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar$;

Considerando que se tiene una nula generación en la cual los p  neles solares tienen una generación de 0 kW y planteando una máxima generación por las turbinas eólicas de 40 KW se tendría entonces un consumo de potencia de la red de distribución de la compañía suministradora de 60 KW total y por cada etapa sería 15 KW, el sistema de generación eólico y solar en esta condición no puede satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.13 y su gráfica en la figura 4.14.

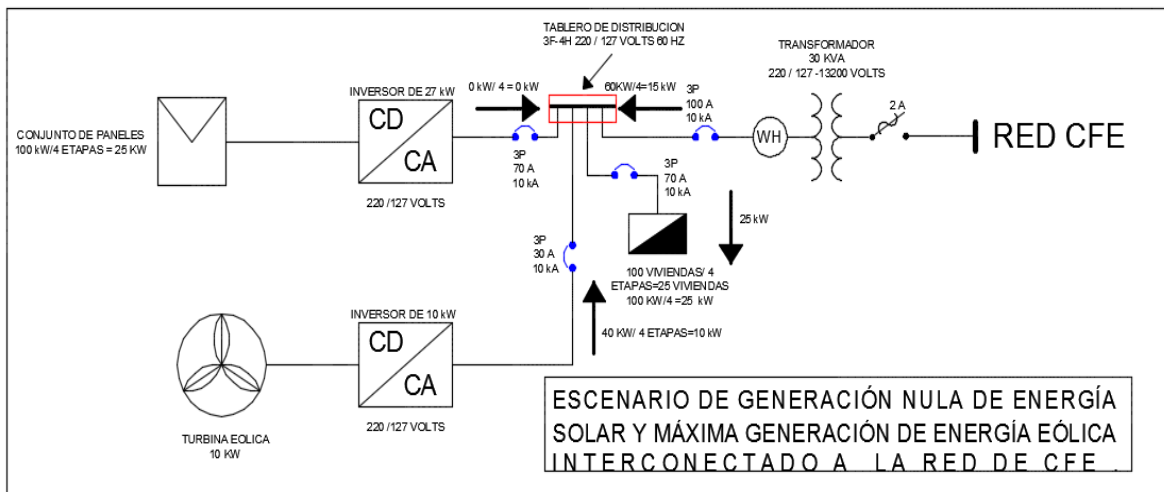


Figura 4.13. Escenario de Generación nula de energía solar y máxima de generación eólica

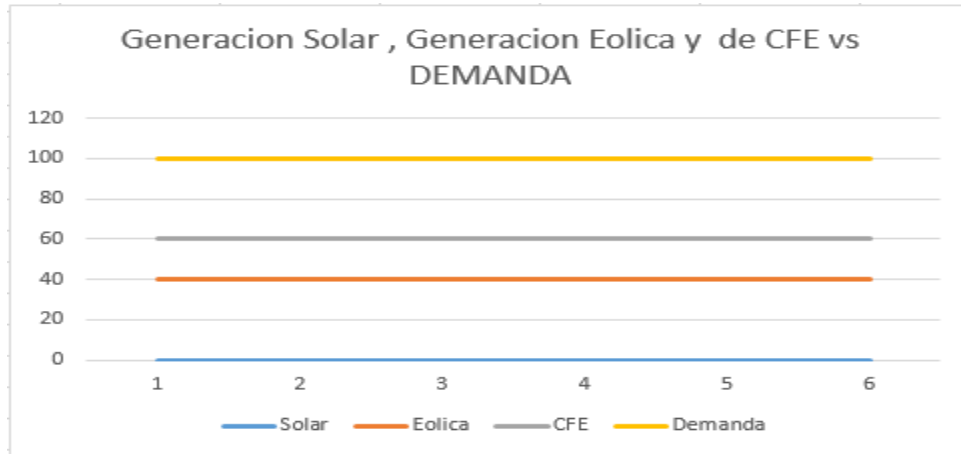


Figura 4.14. Escenario de generación nula de energía solar y generación máxima de energía eólica

4.10 Escenario de Generación nula de energía solar y típica de energía eólica

Este escenario plantea las siguientes situaciones de generación que son las siguientes:

- $Potencia_{p\acute{a}neles} = 0$;
- $Potencia_{e\acute{o}lica} = T\acute{i}pica$;
- $Potencia_{CFE} = a\ determinar$;

Considerando que se tiene una nula generación en la cual los paneles solares tienen una generación de 0 kW y planteando una típica generación por las turbinas eólicas de 24 KW considerando un aprovechamiento del viento del 60% se tendría entonces un consumo de potencia de la red de distribución de la compañía suministradora de 76 KW total y por cada etapa sería 19 KW, el sistema de generación eólico y solar en esta condición no puede satisfacer la demanda de todo el conjunto de viviendas en el fraccionamiento. Este escenario se muestra en la figura 4.15 y su gráfica en la figura 4.16.

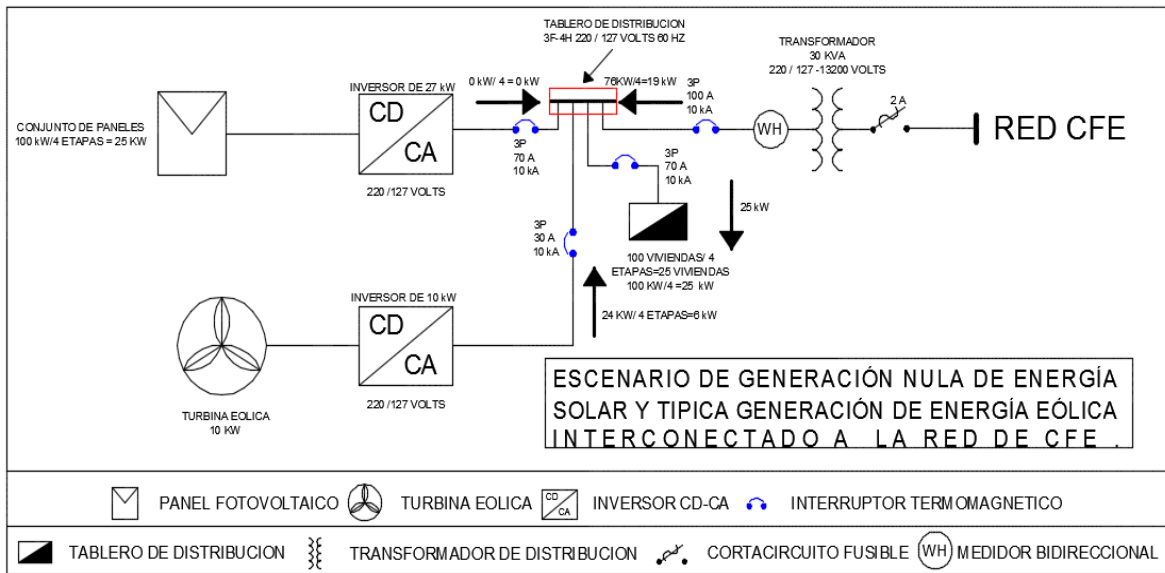


Figura 4.15. Escenario de Generación nula de energía solar y típica de generación eólica

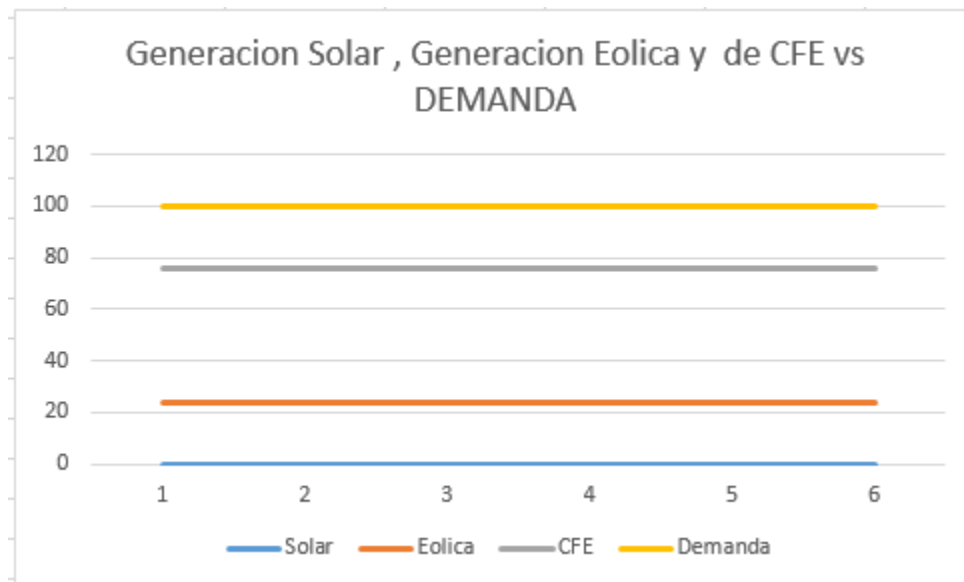


Figura 4.16. Escenario de generación nula de energía solar y generación típica de energía eólica

4.11 Escenario dinámico de Curva Diaria de Demanda

El comportamiento de la demanda a lo largo del día varía ya que el uso de los equipos de cada vivienda no es constante ni continuo, en la figura 4.17 se muestra la curva del comportamiento de la demanda de energía eléctrica para el uso residencial-doméstico, planteando este comportamiento para nuestra demanda total del conjunto habitacional del fraccionamiento. [8]

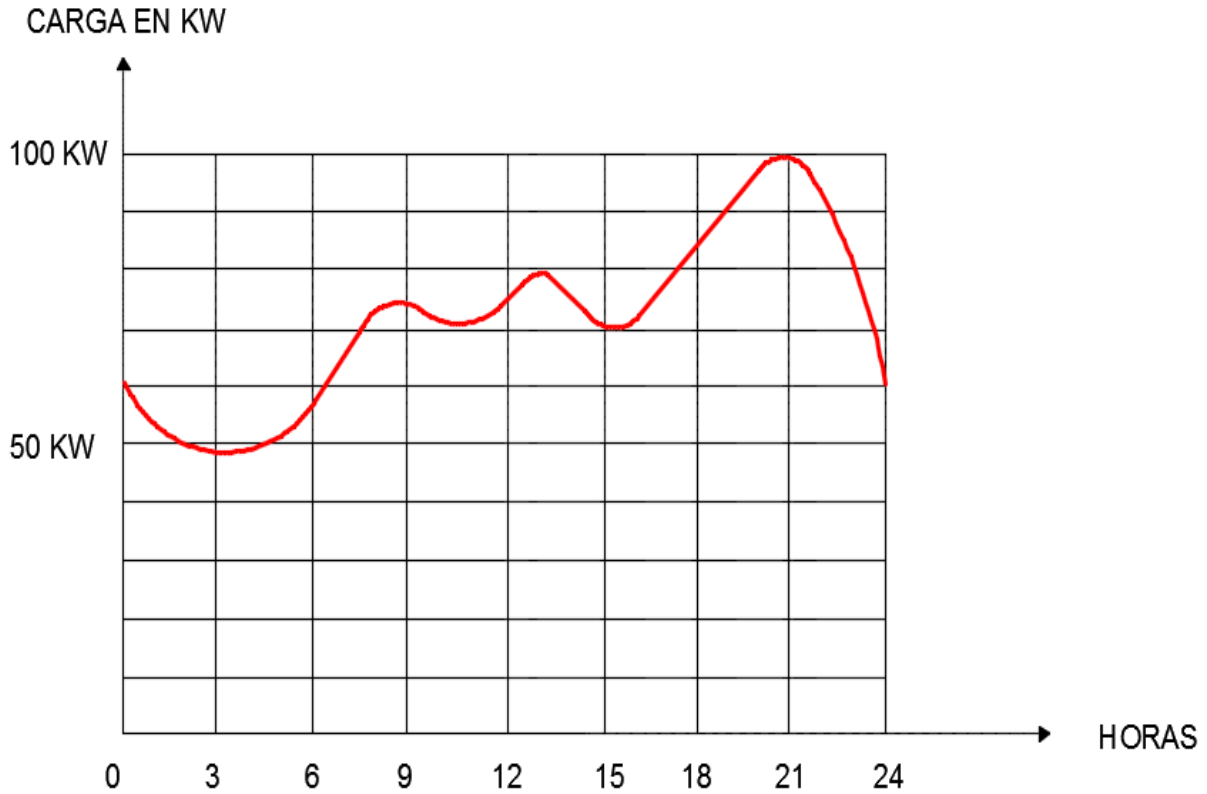


Figura 4.17. Curva del comportamiento de la demanda total en el periodo de las 24 horas para uso residencial-doméstico

Teniendo que el consumo varía tal como se muestra en la figura 4.17 y el sistema de generación solar-eólico planteo los siguientes estados de demanda vs generación solar-eólica interconectado a la red de CFE, este escenario se plantea en la figura 4.18.

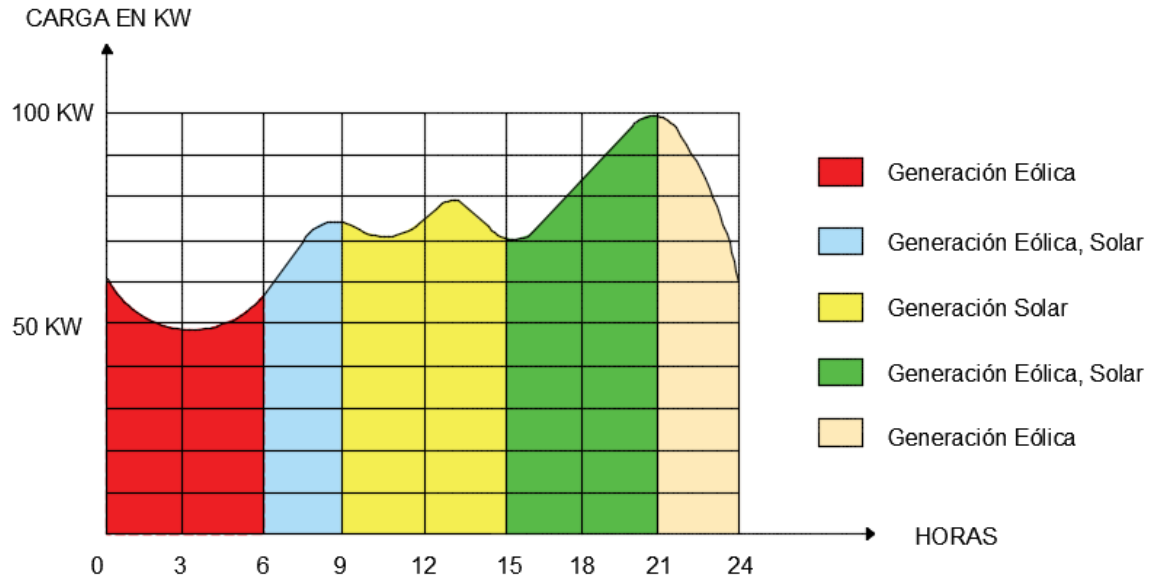


Figura 4.18. Curva del comportamiento de la demanda en el periodo de las 24 horas para uso residencial y generación dinámica solar-eólica

Teniendo así que la generación será aprovechada para el consumo del conjunto habitacional y el excedente se inyectará al sistema de distribución de la CFE.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la actualidad nos hemos visto obligados a buscar alternativas que nos ayuden a mejorar nuestra calidad de vida, aumentando el consumo energético específicamente de energía eléctrica siendo esta la razón que los recursos no renovables han jugado un papel importante ya que brindan un gran potencial energético y a la vez ambiental ya que provocan muchos daños al antes mencionado. Ante esto se ha buscado nuevas alternativas tal como son las fuentes renovables que tienen un gran impacto en el aspecto ambiental ya que no contaminan como lo son las fuentes no renovables. En este trabajo se hizo una propuesta para que un conjunto habitacional sea lo más posible autónomo en cuestión energética instalándose paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas. Entre las conclusiones que tengo al presentar el presente trabajo son las siguientes:

- 1- Se dispone con recurso energético solar y eólico bueno para la generación de energía eléctrica.

- 2- Flexibilidad en la elaboración de la topología del sistema eléctrico ya que se dividió en secciones con el objetivo de tener servicio de energía eléctrica al hacer mantenimiento.
- 3- Disponibilidad de información tanto en internet como en libros que me sirvió para desarrollar el presente trabajo.

5.2 Recomendaciones

En el presente se tiene generación de energía eléctrica distribuida en todo el mundo basada con fuentes renovables tanto de eólica, solar, undimotriz, etc. Pero debido a su alto costo la sociedad le cuesta trabajo hacer inversión para la generación de energía eléctrica basada en fuentes alternas. A quien corresponda hago las siguientes recomendaciones:

- 1- Crear programas flexibles que brinden a la sociedad apoyo para la instalación de fuentes alternas para la generación distribuida de energía eléctrica desde sus hogares.
- 2- Hacer más práctico la enseñanza de fuentes alternas en las escuelas así como el fomento desde los más bajos niveles hasta los niveles superiores.
- 3- Y en particular a nuestra universidad fomentar más las fuentes alternas y crear prototipos de aplicación de las fuentes alternas para generar más interés a los estudiantes.

REFERENCIAS

- 1) <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.mx/2006/01/el-regulador-de-carga.html>
- 2) <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10766/1/20.pdf>
- 3) <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- 4) <http://www.lugentia.es/hosting/masterenergiasrenovablesunh/material/Energ%C3%ADa%20E%C3%B3lica/II%20Master%20Energ%C3%ADa%20Solar%20y%20Renovables-T2 Caracterizaci%C3%B3n%20del%20recurso%20e%C3%B3lico.pdf>
- 5) http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html
- 6) Castrejón, Agustín,(2010), Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Madrid España, Editorial Editex, S.A.
- 7) CIMEM,(2007),Guía Para El Diseño y Construcción de Instalaciones en Media Tensión, Morelia Mich., 2ª Edición, La Voz de Michoacán S.A. de C.V.
- 8) Hernández, Francisco, El Arte de Distribuir Energía Eléctrica.
- 9) http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx
- 10) <http://www.iae.org.ar/archivos/educ6.pdf>