

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO DE BAJA
POTENCIA PARA ABASTECER EL CONSUMO ELÉCTRICO EN EL SECTOR
RESIDENCIAL DE MEXICALI BAJA CALIFORNIA”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA
ANA LILIA TORRES MORALES

DIRECTOR: DOCTOR ALEJANDRO ADOLFO LAMBERT ARISTA
CODIRECTOR: DOCTOR ANÍBAL LUNA LEÓN

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

JULIO DEL 2013

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, que me ha dado una vida llena de alegría y aprendizajes, permitiéndome tener otro logro en mi vida.

A mi padre José Ma. Torres Vázquez y mi madre Ana Ma. Morales Aguilar por haberme apoyado en todo momento, pero más que nada, gracias por su amor y la constante motivación que me ha permitido ser una persona de bien.

A mis hermanas Diana Ma., Claudia E., Alma A. y Alejandra por ser el pilar fundamental de todo lo que soy, en mi educación académica como de la vida, por sus consejos, cariño y comprensión, por su apoyo incondicional durante este tiempo.

A todos los compañeros que me ayudaron durante este tiempo, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo financiero a través de la beca de estudios que me fue otorgada durante el periodo del posgrado.

A la Universidad Autónoma de Baja California por la formación académica recibida.

A mi director de tesis: Dr. Alejandro A. Lambert Arista por la orientación y motivación para la culminación de esta tesis. Por su apoyo y amistad.

A mi Co-Director: Dr. Aníbal Luna León por su apoyo ofrecido en este trabajo, y por su tiempo compartido.

A mis sinodales: Dr. Héctor Campbell, Dr. Jesús Cerezo y Dr. Edgar Valenzuela por sus comentarios y observaciones, las cuales, contribuyeron significativamente en la mejora de este trabajo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	VI
RESUMEN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2 OBJETIVO	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 MEXICALI BAJA CALIFORNIA	5
2.2 OROGRAFÍA	6
2.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	6
CAPÍTULO 3. ENERGÍA SOLAR	7
3.1 VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR.....	11
3.2 INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR	11
3.3 ANTECEDENTES DE ENERGÍA SOLAR	11
3.4 LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO	13
3.5 ENERGÍA SOLAR EN BAJA CALIFORNIA	14
CAPÍTULO 4. ENERGÍA EÓLICA	14
4.1 VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	16
4.2 INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA EÓLICA	17
4.3 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA EÓLICA	17
4.4 LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO	21
4.5 ENERGÍA EÓLICA EN BAJA CALIFORNIA	23
CAPÍTULO 5. SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO	24
5.1 VENTAJAS DEL SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO	28
5.2 INCONVENIENTES DEL SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO.....	28
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO EN MEXICALI, B.C.	28
6.1 ENERGÍA DEL VIENTO.....	28
6.2 TEOREMA DE BETZ	31

6.3 MÉTODO FINKELSTEIN SCHAFFER (FS) STATISTICS	32
CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE ESTUDIO	36
7.1 CONSUMO ENERGÉTICO.....	36
7.2 ELECTRODOMÉSTICOS	37
7.3 AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA	38
7.4 PANEL FOTOVOLTAICO	41
CAPÍTULO 8. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	44
8.1 EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO: C. MÍNIMO.....	48
8.2 EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO: C. PROMEDIO.....	51
8.3 PROPUESTAS	54
8.4 COSTO DE PRODUCCIÓN	59
CAPÍTULO 9. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	61
9.1 CALCULO DE RETORNO DE INVERSIÓN	63
9.1.1 RETORNO DE INVERSIÓN C. MÍNIMO	65
9.1.2 RETORNO DE INVERSIÓN C. PROMEDIO.....	69
9.1.3 RETORNO DE INVERSIÓN C. FRACCIONAMIENTO	72
CAPÍTULO 10. CONCLUSIÓN	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS.....	78
APÉNDICES	81

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CLIMA EN MEXICALI, B.C.....	7
TABLA 2 TECNOLOGÍAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS MÁS COMUNES	10
TABLA 3 PROYECTOS EÓLICOS EN OPERACIÓN EN MÉXICO. ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN – DICIEMBRE 2012	22
TABLA 4 AÑO TÍPICO METEOROLÓGICO (TMY) GENERADO PARA MEXICALI BAJA CALIFORNIA	35
TABLA 5 CONSUMO ENERGÉTICO TÍPICO TOTAL ANUAL.....	36
TABLA 6 CONSUMO ENERGÉTICO PROMEDIO MENSUAL.....	37
TABLA 7 ESPECIFICACIONES DEL PROVEEDOR PARA EL MODELO H3.1-1kW BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA	39
TABLA 8 ESPECIFICACIONES DEL PROVEEDOR PARA EL MODELO H3.8-2kW BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA	40
TABLA 9 ESPECIFICACIONES DEL PROVEEDOR PARA EL MODELO ET230PC BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA	41
TABLA 10 ESPECIFICACIONES DEL PROVEEDOR PARA EL MODELO STP290 – 24/VD BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE PRUEBA.....	43
TABLA 11 EQUIPOS A UTILIZARSE EN LA VIVIENDA CON CONSUMO MÍNIMO	48
TABLA 12 ENERGÍA GENERADA PARA CUBRIR CONSUMO ENERGÉTICO MÍNIMO	50
TABLA 13 EQUIPOS A UTILIZARSE EN LA VIVIENDA CON CONSUMO PROMEDIO	51
TABLA 14 ENERGÍA GENERADA PARA CUBRIR CONSUMO ENERGÉTICO PROMEDIO	53
TABLA 15 CONSUMO ENERGÉTICO TÍPICO ANUAL DEL FRACCIONAMIENTO	55
TABLA 16 EQUIPOS A UTILIZARSE PARA ABASTECER EL CONSUMO ANUAL DE LAS CASAS EN EL FRACCIONAMIENTO	56
TABLA 17 ENERGÍA GENERADA PARA CUBRIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DEL FRACCIONAMIENTO	58
TABLA 18 COSTO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD BASADA EN ENERGÍAS RENOVABLES POR TECNOLOGÍA E ÍNDICES DE APRENDIZAJE EN EL ESCENARIO DE NUEVAS POLÍTICAS	60
TABLA 19 CONSTANTES PARA OBTENER EL RETORNO DE INVERSIÓN	64
TABLA 20 C. MÍNIMO: COSTO TOTAL DE SISTEMA HÍBRIDO	65
TABLA 21 C. MÍNIMO: ENERGÍA GENERADA POR SISTEMA VS CONSUMO ENERGÉTICO	66

TABLA 22 C. MÍNIMO: AHORRO ANUAL TARIFA 1F CON S. EO-FV.....	66
TABLA 23 C. PROMEDIO: COSTO TOTAL DE SISTEMA HÍBRIDO.....	69
TABLA 24 C. PROMEDIO: ENERGÍA GENERADA POR SISTEMA HÍBRIDO VS CONSUMO ENERGÉTICO.....	70
TABLA 25 C. PROMEDIO: AHORRO ANUAL TARIFA 1F CON S. EO-FV.....	70
TABLA 26 C. FRACCIONAMIENTO: COSTO TOTAL DE SISTEMA HÍBRIDO	73
TABLA 27 C. FRACCIONAMIENTO: ENERGÍA GENERADA POR SISTEMA HÍBRIDO VS CONSUMO ENERGÉTICO.....	73
TABLA 28 C. FRACCIONAMIENTO: AHORRO ANUAL TARIFA 1F CON S. EO-FV.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 LOCALIZACIÓN DE LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.	5
FIG. 2 ABEL PIFRE, OPERARIO DE MOUCHOUT, UTILIZA UN ANTECESOR DE LOS COLECTORES DE LOS ACTUALES DISCOS PARABÓLICOS PARA PROPORCIONAR LA POTENCIA QUE NECESITA UNA PRENSA DE IMPRENTA EN 1880	12
FIG. 3 IRRADIACIÓN SOLAR EN LA ZONA DE BAJA CALIFORNIA NORTE	13
FIG. 4 AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL.....	15
FIG. 5 AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL	15
FIG. 6 PARTES BÁSICAS DE UN SISTEMA EÓLICO PEQUEÑO PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	16
FIG. 7 MOLINO PERSA DE EJE VERTICAL.....	17
FIG. 8 MOLINO DE EJE HORIZONTAL	18
FIG. 9 MOLINO DE TRÍPODE.....	18
FIG. 10 ROTOR DE MÚLTIPLES ALABES (MULTIPALA)	19
FIG. 11 MULTIPALA AMERICANO	20
FIG. 12 TAMAÑO DE AEROGENERADORES Y CAPACIDAD EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.....	20
FIG. 13 ZONAS CON POTENCIAL PARA LA EXPLOTACIÓN EÓLICA.....	21
FIG. 14 ZONAS DE APROVECHAMIENTO POTENCIAL EÓLICO EN MÉXICO	23
FIG. 15 PARQUE EÓLICO LA RUMOROSA CON 10 MW INSTALADOS	24
FIG. 16 SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	25
FIG. 17 SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED	25
FIG. 18 CONEXIONES PARA UN SISTEMA HÍBRIDO INTERCONECTADO A LA RED DE CFE	26
FIG. 19 COMPONENTES PRINCIPALES QUE FORMAN LA INSTALACIÓN FV	27
FIG. 20 ÁREA DE BARRIDO DE UN ÁLABE.....	29
FIG. 21 CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DE LAS VIVIENDAS A ESTUDIAR	37
FIG. 22 AEROGENERADOR HUMMER MODELO H3-1000.....	38
FIG. 23 CURVA DE POTENCIA DEL PROVEEDOR PARA EL AEROGENERADOR H3.1-1kW	39
FIG. 24 CURVA DE POTENCIA DEL PROVEEDOR PARA EL AEROGENERADOR H3.8-2kW	40
FIG. 25 CURVA CARACTERÍSTICA DEL PANEL SOLAR ET230PC.....	42
FIG. 26 GRAFICA DE CORRIENTE-VOLTAJE Y POTENCIA-CURVA DE VOLTAJE	43

FIG. 27 COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN AÑO TÍPICO.....	44
FIG. 28 DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.	45
FIG. 29 COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOLAR EN AÑO TÍPICO.....	45
FIG. 30 ARREGLO PARA UN SISTEMA HÍBRIDO EN EL SOFTWARE TRNSYS.....	47
FIG. 31 C. MÍNIMO: ENERGÍA GENERADA SISTEMA FV	48
FIG. 32 C. MÍNIMO: ENERGÍA GENERADA SISTEMA EÓLICO.....	49
FIG. 33 COMPARATIVO DEL CONSUMO MÍNIMO DE ENERGÍA CONTRA LA ENERGÍA GENERADA	49
FIG. 34 ENERGÍA GENERADA PARA CUBRIR DEMANDA ENERGÉTICA MÍNIMA	51
FIG. 35 C. PROMEDIO: ENERGÍA GENERADA SISTEMA FV.....	52
FIG. 36 C. PROMEDIO: ENERGÍA GENERADA SISTEMA EÓLICO	52
FIG. 37 COMPARATIVO DEL CONSUMO PROMEDIO DE ENERGÍA VS LA ENERGÍA GENERADA	53
FIG. 38 ENERGÍA GENERADA PARA CUBRIR DEMANDA ENERGÉTICA PROMEDIO.....	54
FIG. 39 CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DEL FRACCIONAMIENTO	55
FIG. 40 C. FRACCIONAMIENTO: ENERGÍA GENERADA SISTEMA FV	56
FIG. 41 C. FRACCIONAMIENTO: ENERGÍA GENERADA SISTEMA EÓLICO	57
FIG. 42 COMPARATIVO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL FRACCIONAMIENTO VS LA ENERGÍA GENERADA	57
FIG. 43 ENERGÍA GENERADA PARA CUBRIR DEMANDA ENERGÉTICA DEL FRACCIONAMIENTO ..	58
FIG. 44 COSTO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS CON ENERGÍA RENOVABLE A GRAN ESCALA EN EL ESCENARIO DE NUEVAS POLÍTICAS	60
FIG. 45 C. MÍNIMO: TOTAL A PAGAR SIN EL SISTEMA HÍBRIDO.....	67
FIG. 46 C. MÍNIMO: RETORNO DE INVERSIÓN.....	68
FIG. 47 C. PROMEDIO: TOTAL A PAGAR SIN EL SISTEMA HÍBRIDO	71
FIG. 48 C. PROMEDIO: RETORNO DE INVERSIÓN	72
FIG. 49 C. FRACCIONAMIENTO: TOTAL A PAGAR SIN EL SISTEMA HÍBRIDO	74
FIG. 50 C. FRACCIONAMIENTO: RETORNO DE INVERSIÓN.....	75

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es la simulación de un sistema híbrido Eólico–Fotovoltaico (EO-FV) de baja potencia instalado en una vivienda de clase media – alta en la ciudad de Mexicali, Baja California. Del cual, tendrá como fuente de almacenamiento la interconexión a la red.

La simulación del sistema híbrido estará conformada por aerogenerador, fotovoltaico e inversores donde observaremos su funcionamiento bajo diferentes condiciones de demanda eléctrica.

Una de las principales problemáticas en el uso de estos sistemas, es lograr un buen control en el funcionamiento general del sistema, así como, realizar un correcto dimensionamiento de los diversos componentes con la finalidad de garantizar en todo momento la entrega de energía que demanda la vivienda.

Con lo anterior, la simulación se realizó utilizando el software TRNSYS 16 ya que es visualmente más amigable y nos permite analizar e interpretar de una mejor manera los datos de velocidad de viento, dirección y radiación solar.

Por otra parte, el crecimiento de la ciudad presenta beneficios sociales y económicos pero también problemas relacionados con la dotación de servicios eléctricos. Mientras que, climáticamente se presentan días soleados, temperaturas cálidas extremas e inclusive meses con ráfagas de viento los cuales pueden ser aprovechados como fuentes de generación de energía eléctrica en la ciudad de Mexicali Baja California. Debido a esto, nuestro estado juega un papel relevante en la economía nacional y esta situación hace que seamos parte de las ciudades más importantes de la frontera.

Para ello, se tomaron los datos de velocidad de viento, radiación solar y dirección del viento de los años 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010 proporcionados por la estación climatológica de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), los cuales son medidos a una altura de 10 metros por encima del suelo. Con estos datos, se generó un archivo meteorológico de un año típico en Mexicali el cual fue utilizado para simular las condiciones con las que trabajaría el S. EO-FV en cada uno de los meses típicos.

Mediante una encuesta en el fraccionamiento San Sebastián de la ciudad de Mexicali, B.C. se obtuvieron los datos de consumo energético demandados en el 2010. Se seleccionaron dos viviendas dentro de las 100 casas encuestadas, la de menor consumo energético (C. Mínimo) durante el 2010 registrando 4,593 kWh y la vivienda que presentó un consumo cercano al promedio (C. Promedio) en el 2010 con 7,958 kWh.

En base a lo anterior, se determinaron las combinaciones de los equipos EO y FV necesarios para abastecer el consumo eléctrico anual para los dos casos. Dichas viviendas cuentan con 3 o 4 habitantes, presentando puntas de consumo muy por encima de lo habitual en los meses de verano, esto es, debido a las altas temperaturas registradas en la ciudad de Mexicali, B.C..

Al final del trabajo se recopilaron las conclusiones más relevantes de la simulación, incluyendo una propuesta para instalar una planta con equipos Eólicos y Fotovoltaicos con el fin de abastecer el consumo energético total anual del fraccionamiento San Sebastián el cual cuenta con 100 viviendas.

En base a los consumos obtenidos y equipos a instalarse para abastecer la demanda eléctrica se realizó el estudio económico para instalar un Sistema EO – FV permitiendo analizar más objetivamente que tan rentable es el instalar este tipo de fuentes alternas en la ciudad de Mexicali, B.C.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Con la actual crisis energética debido al uso desmedido de los combustibles fósiles en las actividades humanas se ha buscado abastecer el consumo de energía mediante el uso de recursos generados por tecnologías sustentables.

Como ejemplo, se tiene a la energía eólica que registra una tasa de crecimiento anual de más del 25% en los últimos años lo cual hace que sea considerada como la fuente de energía de más rápido crecimiento mientras que la energía solar presenta una mínima participación [1].

Ambas tecnologías son planteadas como una solución para la reducción de emisiones de CO₂, ya que cada kWh que deja de producir la termoeléctrica se deja de emitir aproximadamente 0.60 Kg de CO₂ a la atmosfera. Por este motivo los gobiernos están haciendo gran énfasis en el uso de energías renovables.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Baja California presenta una demanda de electricidad la cual va aumentando a un ritmo mayor comparado con la generación de energía hoy en día. Mientras que las causas del acelerado crecimiento de la demanda son fundamentalmente debido a que la vida moderna depende cada vez más de la electricidad tanto en las actividades económicas como en el consumo de las familias.

A su vez, Mexicali cuenta con un uso desmedido de equipos domésticos debido a su clima extremo, tanto en verano como en invierno, cuya población se ve en la necesidad de tener un clima artificial dentro de su hogar durante esos periodos.

Así mismo, el consumo de petrolíferos ha tenido grandes impactos económicos, sociales, políticos y ambientales; además, las reservas de hidrocarburos son relativamente escasas en México, por lo que existe el peligro de que se agoten. Es evidente, que debemos ir liberándonos de la dependencia de los hidrocarburos para generar electricidad y no esperara el agotamiento de sus reservas o al descubrimiento de nuevos yacimientos.

Con el uso de energías renovables, los problemas anteriores pueden ser solucionados, especialmente con la energía eólica y solar. Mexicali B.C. tiene una alta radiación solar, con valores promedio hasta 5.8 kWh/m²/día [2]. Mientras que en los meses de Marzo y Abril presenta constantes vientos de hasta 7 m/s.

De aquí surge la necesidad de realizar un análisis en el siguiente trabajo del recurso natural con el que cuenta Mexicali, B.C. implementando un sistema híbrido eólico-solar de baja potencia.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Simular un sistema híbrido de baja potencia interconectado a la red de CFE para determinar su factibilidad técnica-económica en el sector residencial aprovechando las condiciones climatológicas que tiene la ciudad de Mexicali, B.C.

1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar el comportamiento de la velocidad de viento así como la radiación solar en la ciudad de Mexicali, Baja California.
- Determinar cuántos equipos Eólicos y Fotovoltaicos son necesarios para cubrir el consumo energético de las viviendas con consumos típicos.

- Identificar una posible propuesta para abastecer de energía eléctrica en su totalidad al fraccionamiento encuestado mediante una granja eólica-fotovoltaica.
- Identificar si el proyecto es rentable de acuerdo a la inversión inicial y al ahorro que se tendrá implementando la estrategia de utilizar energías renovables.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MEXICALI BAJA CALIFORNIA

Mexicali forma parte de uno de los cinco municipios del Estado de Baja California; cuenta con una extensión territorial de 71 mil km² aproximadamente, el cual representa el 18% del territorio del estado (Fig. 1). La superficie del municipio colinda al norte con los EUA; al este con los EUA, el Estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el Golfo de California y el Municipio de Ensenada; al oeste con los Municipios de Ensenada y Tecate [3].

Su posición geográfica: Al norte 32° 43′, al sur 30° 52′ de latitud norte; al este 114° 42′ y al oeste 115° 56′ de longitud oeste [3].



Fig. 1 Localización de la ciudad de Mexicali, B.C.

2.2 OROGRAFÍA

La orografía del Municipio de Mexicali se caracteriza por tener el 30% de su territorio entre sierras, entre las que destacan las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir. La primera comprende una franja que va de la parte noroeste hasta el suroeste del municipio, con 3,300 m de altura. La segunda está localizada en la parte suroeste y su altura es de 2,800 m sobre el nivel del mar.

Adicionalmente existen otras sierras, como: el Cerro del Centinela con una elevación de 750 m, localizada en la parte noroeste del municipio; la Sierra Cucapah, situada en la parte norte y al oeste del Valle de Mexicali, cuenta con una altura máxima de 1,000 m. El Cerro Prieto, ubicado al suroeste de la ciudad. La Sierra El Mayor, localizadá en la parte central norte del municipio; la Sierra San Felipe la cual se encuentra ubicada al sur del municipio; la Sierra Las Tinajas, localizada en la parte central; la Sierra Las Pintas, se localiza en la parte central sur del municipio.

2.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

La Ciudad de Mexicali, una de las regiones con climas más extremos en todo el país, presenta una baja precipitación anual, cielos claros y tiempo cálido la mayor parte del año, debido en gran parte al régimen de alta presión atmosférica que prevalece en la región. Sin embargo, por estar localizada en una zona de transición entre latitudes medias y subtropicales tiene una gran variabilidad climática [3].

El clima predominante es un clima seco y caliente, con temperaturas extremas durante el verano y el invierno. La temperatura media anual es de 31.4 °C, pero en el verano, en los meses de junio hasta agosto, la temperatura media máxima es superior a 30°C. Por lo que julio y agosto, son los meses más calurosos, con temperatura media máxima de casi 40°C a 43°C. El mes de enero es el mes más frío, la temperatura media mensual es de 21°C (Tabla 1).

De acuerdo a estudios realizados por el servicio meteorológico nacional de Comisión Nacional del Agua, se han registrado grandes contrastes térmicos en Mexicali, con temperaturas tan altas como 54.3°C, y tan bajas como -7.0°C.

Tabla 1 Clima en Mexicali, B.C.

Mes	Temp Prom °C	Estación	Temp Prom °C	Humedad Relativa (%)
Diciembre	21.16	Invierno	21.98	60
Enero	21.61			54
Febrero	23.17			46
Marzo	26.68	Primavera	30.47	46
Abril	30.00			46
Mayo	34.74			36
Junio	39.30	Verano	40.72	33
Julio	41.87			46
Agosto	41.00			50
Septiembre	38.57	Otoño	32.37	46
Octubre	32.74			46
Noviembre	25.80			46

CAPÍTULO 3. ENERGÍA SOLAR

El Sol es una esfera gaseosa con un diámetro de 1, 391,000 km. La Tierra da vueltas alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica de la cual la distancia media de la Tierra al Sol es de 149, 450,000 km.

Por lo tanto, la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie se le llama constante solar. El valor promedio de la constante solar es de 1 366 W/m². Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que varía un 0.2% en un periodo de 30 años [4]

Por otra parte, la radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede transformar en electricidad contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La conversión de la energía solar en energía eléctrica está basada casi por completo en el denominado "efecto fotovoltaico", o producción de una corriente eléctrica con un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa.

En el siguiente trabajo se simuló la radiación solar para generar energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, los cuales producen electricidad a través de placas de semiconductores llamadas celdas fotovoltaicas los cuales estarán en conjunto con un sistema eólico interconectado a la red.

Por otro lado, la energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

Dispersión: su densidad apenas alcanza 1 kW/m^2 , muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.

Intermitencia: hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada. Así pues, el primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su captación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos tipos de sistemas:

- Pasivos: no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar, cuyo aprovechamiento se logra aplicando distintos elementos arquitectónicos.
- Activos: captan la radiación solar por medio de un elemento de determinadas características, llamado "colector"; según sea éste se puede llevar a cabo una conversión térmica (a baja, media o alta temperatura), aprovechando el calor contenido en la radiación solar, o

bien una conversión eléctrica, aprovechando la energía luminosa de la radiación solar para generar directamente energía eléctrica por medio del llamado "efecto fotovoltaico".

Por otra parte, los tipos de módulos fotovoltaicos que actualmente se tiene en el mercado son; Monocristalinos, Policristalinos, Módulos amorfo y de capa delgada (Tabla 2).

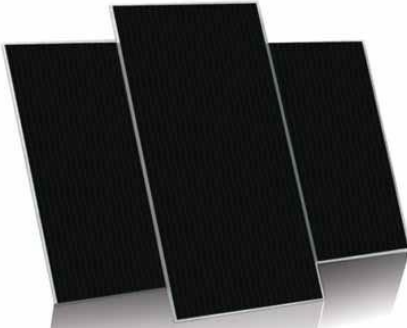
Los módulos monocristalinos actualmente se fabrican a partir de rebanadas finas cortadas de un solo cristal de silicio las cuales pueden llegar a presentar una eficiencia no mayor a un 19%.

A su vez, el panel policristalino se fabrica a partir de un solo bloque de cristales, que incluye no solo silicio. Se debe considerar que esta tecnología presenta una menor eficiencia con respecto a la monocristalina, por lo que es necesaria una cantidad mayor de superficie de paneles a instalarse.

Los paneles de silicio amorfo se forman mediante el depósito de diferentes tipos de silicio tratado sobre un sustrato de vidrio, por lo tanto, esta es la tecnología que utiliza silicio de menor calidad y en consecuencia su eficiencia disminuye con el aumento de la temperatura presentando una eficiencia de hasta el 9%.

Mientras que, los módulos de capa delgada más utilizados son los producidos con Silicio amorfo presentando una eficiencia de conversión capaz de alcanzar entre el 6% y el 12%. Por lo que, la eficiencia lograda con esta tecnología es baja comparándola con los módulos mencionados anteriormente.

Tabla 2 Tecnologías de módulos fotovoltaicos más comunes

Módulos fotovoltaicos	
Módulos Monocristalinos	
Módulos Policristalinos	
Módulos amorfo	
Módulos de capa delgada	

3.1 VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR

- Al no producirse ningún tipo de combustión, no se generan contaminantes atmosféricos en el punto de utilización, ni se producen gases de efecto invernaderos.
- El Silicio, elemento base para la fabricación de las células fotovoltaicas, es muy abundante, no siendo necesario explotar yacimientos de forma intensiva.
- Al ser una energía fundamentalmente de ámbito local, evita cables, postes, no se requieren grandes tendidos eléctricos, y su impacto visual es reducido.

3.2 INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR

- Los módulos fotovoltaicos, al final de su vida útil, son tratados como materiales de residuos peligrosos.
- Mantener una zona despejada, libre de sombras, para obtener la mayor radiación solar posible.

3.3 ANTECEDENTES DE ENERGÍA SOLAR

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

Por lo que, en las primeras investigaciones para captar y explotar la energía solar se remontan a la antigüedad donde los egipcios descubrieron el efecto del vidrio, descubriendo el comportamiento de un cuerpo al exponerlo al Sol en un recipiente de vidrio teniendo como resultado que se calentaba más que al aire libre.

Por otro lado, en el año 100 D. C., Herón de Alejandría construyó un dispositivo para bombear agua con ayuda de la radiación solar. Mientras que, Arquímedes incendió una flota en el siglo III con ayuda de pequeños espejos planos agrupados de manera que formo grandes espejos cóncavos.

De modo similar, en el siglo XIII Lavoisier realizó el primer horno solar concentrando la energía con ayuda de una lente con líquido obteniendo la temperatura de fusión del platino. También tenemos el antecedente del Suizo Saussure, en el siglo XVIII, el cual construyo varias máquinas solares que consistían de dos vidrios planos sobre la faz orientadas hacia el sol.

Es por ello, que en el siglo XIX y a principios del XX importantes instalaciones fueron construidas con la finalidad de producir energía mecánica a partir de la energía generada por el aire caliente o vapor de agua.

Así pues, Mouchot construyó una máquina que era capaz de producir vapor a 3.5 atmósferas y un gran espejo cónico que sirvió para hacer funcionar la imprenta de la Exposición Universal de 1878. Por la misma época Pifre construyó una imprenta solar (Fig. 2).

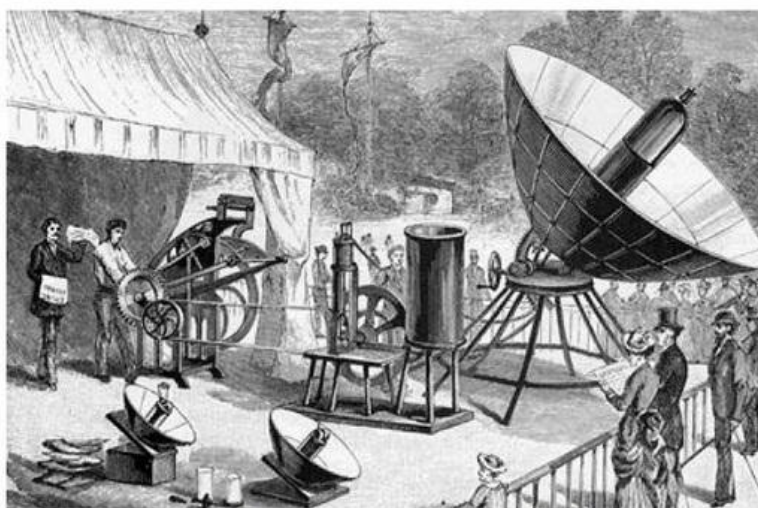


Fig. 2 Abel Pifre, operario de Mouchout, utiliza un antecesor de los colectores de los actuales discos parabólicos para proporcionar la potencia que necesita una prensa de imprenta en 1880

Los antepasados intentaron construir dispositivos capaces de orientarse automáticamente hacia el Sol a fin de mejorar el rendimiento para alargar el tiempo de uso de las máquinas; pero los dispositivos eran pesados, muy complicados y por consiguiente muy costosos.

3.4 LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

En México la fuente de energía primaria que tiene una mayor participación en la generación de electricidad son los hidrocarburos, mientras que las fuentes alternas como la eólica y solar presentan una mínima participación.

La Comisión Reguladora de Energía realizó un estudio donde advierte el alto potencial de recurso solar con el que cuenta México (Fig. 3), tanto por su extensión territorial como por su localización geográfica. Es por ello que el organismo desarrollara un programa especial para el aprovechamiento de energías renovables en colaboración con la Secretaría de Energía.

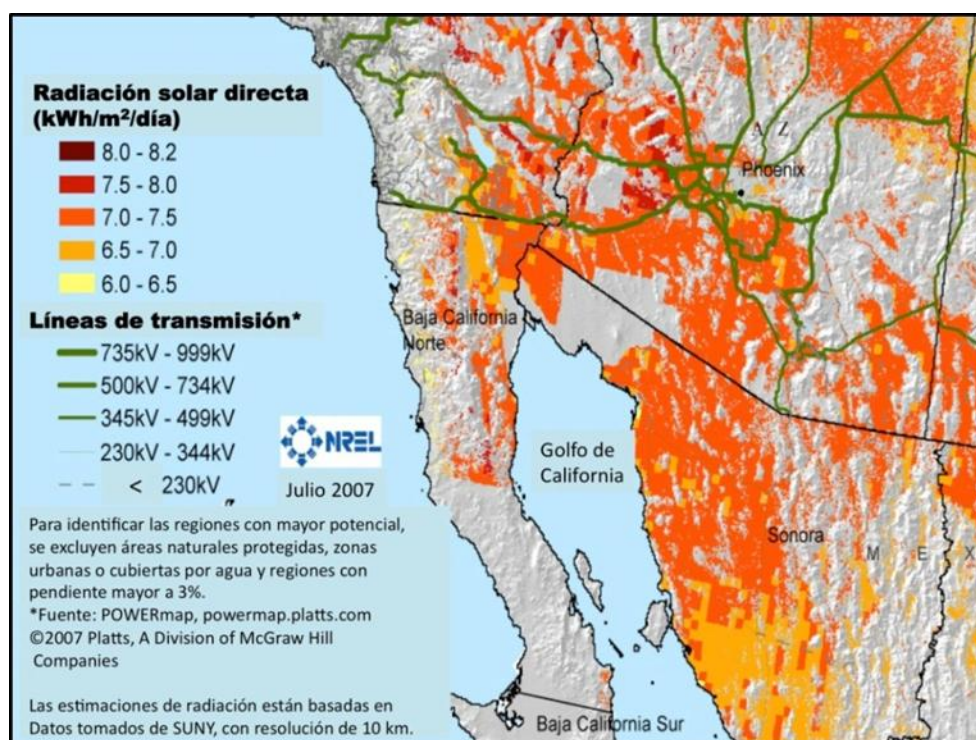


Fig. 3 Irradiación solar en la zona de Baja California Norte

Por otra parte, existe la participación de México en el Cambio Climático Global desde el año 1993 para después servir como motivación para generar el Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones, con ello permitiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y al mismo tiempo atraer recursos adicionales para la promoción de energías renovables.

3.5 ENERGÍA SOLAR EN BAJA CALIFORNIA

Baja California se encuentra en un nivel de investigación para la implementación de nuevas plantas solares ya que se tiene una gran incidencia de energía solar.

Por lo que es posible implementar proyectos para la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares debido a que las condiciones climatológicas y de terreno de esta entidad son propicias para el desarrollo de esta clase de energía.

A su vez, Baja California juega un papel relevante en la economía nacional y esta situación hace que seamos parte de los Estados más importantes de la frontera para llevar a cabo proyectos con una alta inversión

Mientras llegan estas tecnologías a nuestro Estado se seguirá teniendo una alta dependencia de los combustibles fósiles para abastecer el consumo energético de los ciudadanos los cuales aún no adoptan prácticas para lograr el ahorro de energía.

CAPÍTULO 4. ENERGÍA EÓLICA

El comportamiento del viento refleja los efectos que los diversos fenómenos físicos ejercen sobre el aire. A medida que el aire se calienta, éste se expande, volviéndose menos denso y ejerciendo menos presión en un volumen dado. Siguiendo el camino de menor resistencia, el aire fluye desde áreas de alta presión hacia las de baja presión. Cuando el movimiento del aire avanza en dirección horizontal, surge el

viento y su velocidad es mayor en áreas de gradientes de presión fuertes o pronunciados. (Servicios de Extensión Petrolera, 1982).

En base a lo anterior, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a la posición del eje de rotación y son clasificados como sigue:

De eje Horizontal: tienen la característica de que el eje de rotación se encuentra paralelo al flujo del aire por lo que los álabes son orientados en dirección del viento para poder obtener la máxima cantidad de viento (Fig. 4).



Fig. 4 Aerogenerador de eje Horizontal

De eje Vertical: se reconocen por tener el eje perpendicular al flujo de aire por lo que no necesitan orientarse hacia la dirección del viento, ya que siempre reciben el viento de forma óptima logrando funcionar a bajas revoluciones (ver Fig. 5).



Fig. 5 Aerogenerador de eje Vertical

Por lo que, el viento al igual que otras fuentes renovables de energía tienen su origen en la energía solar donde la energía transformada en energía eólica es proveniente del Sol.

Por tanto, estos sistemas están compuestos por un rotor, un generador montado en una estructura, una torre, cableado, controladores e inversores (Fig. 6). A través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador.

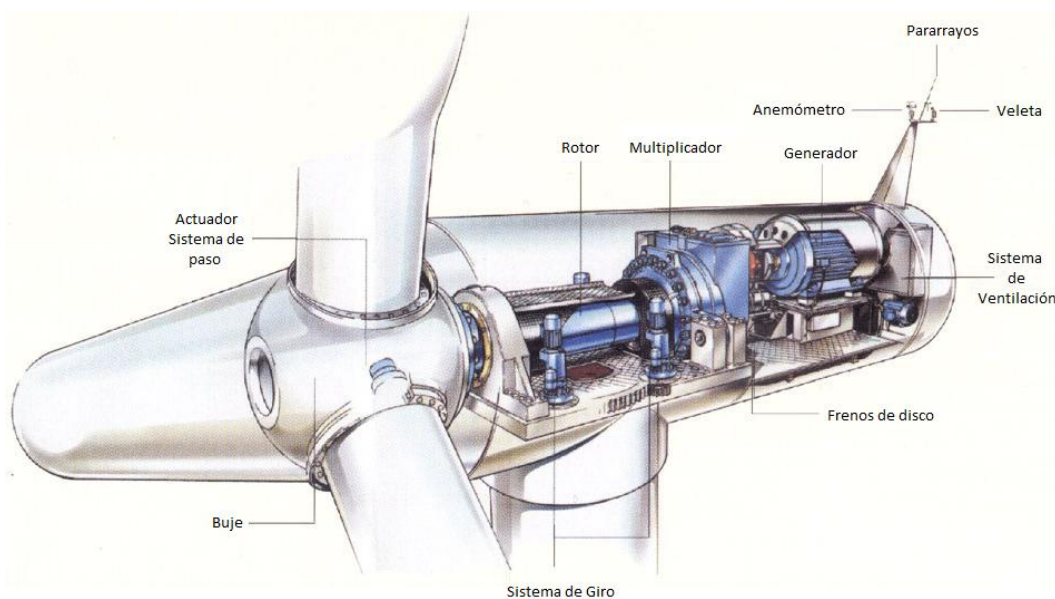


Fig. 6 Partes básicas de un Sistema eólico pequeño para Generación de Electricidad

4.1 VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA

- Energía rentable, limpia e inagotable.
- Energía disponible en todo el planeta y por tanto difícilmente monopolizable por estados o multinacionales.
- Tecnología simple y barata.

4.2 INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA EÓLICA

- La irregularidad (fuerza variable del viento) e inconstancia (períodos de inactividad) del viento.
- Efecto negativo para la estética del paisaje.

4.3 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA EÓLICA

La primera referencia histórica sobre una posible aplicación de la energía eólica que no fuera la navegación, data del año 1700 a.C., siendo los babilonios los pioneros en utilizar molinos de viento para bombear agua con el fin de regar sus campos.

El primer molino de viento de aplicaciones utilitarias que se conoce con cierto detalle es el molino persa de eje vertical (Fig. 7) que se utilizó varios siglos antes de nuestra era. Este molino se empleaba para moler grano y fue de uso corriente en el Sijistán, zona situada en la antigua Persia en lo que hoy en día es Irán y Afganistán, donde se dice que soplaba un viento muy constante llamado de los 120 días.

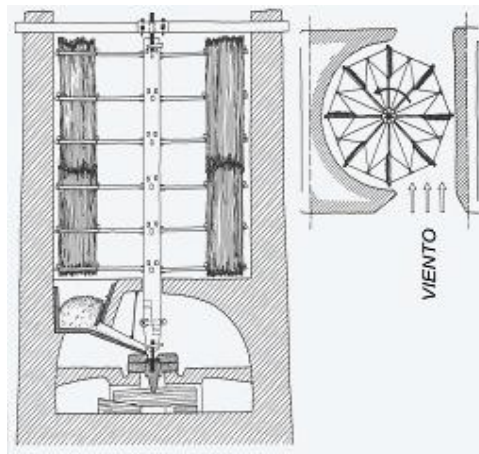


Fig. 7 Molino Persa de eje vertical

En los primeros molinos de eje horizontal (Fig. 8), el rotor estaba formado por unas velas que guardaban cierta similitud con las que se utilizaban en la navegación.

Era un eje sobre el que se unían las seis u ocho palas que movía una rueda donde el conjunto se apoyaba en un trípode de madera que se situaba sobre la boca del pozo.

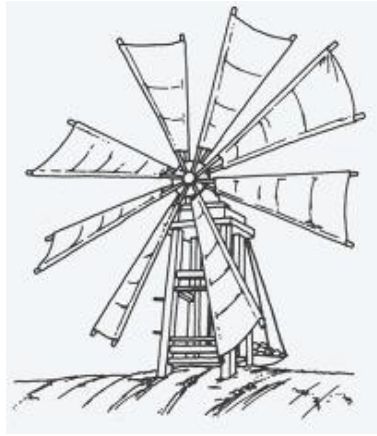


Fig. 8 Molino de eje horizontal

A partir del siglo XV se extienden por Europa dos tipos de molinos llamados trípode y torre, desarrollados hasta mediados del siglo XIX. Los molinos de trípode habían sustituido a los de pivote consiguiendo una sustancial mejora en el sistema de apoyo, lo que hizo posible la construcción de máquinas de mayor tamaño. La creación del poste hueco permitió a los molinos de trípode continuar su desarrollo paralelamente a los de tipo torre, adaptándose a las necesidades crecientes de la época. Con el tiempo, el trípode acabaría recubriéndose para ser utilizado como almacén, o como vivienda del molinero (Fig. 9).



Fig. 9 Molino de trípode

A partir del siglo XVII el molino de viento se emplea a gran escala para el bombeo de agua.

En la segunda mitad del siglo XIX empieza a aparecer una nueva generación de turbinas eólicas, con una diferente concepción de diseño. Son máquinas sencillas y su ámbito de aplicación se reduce a zonas rurales más o menos aisladas, donde las ventajas de la industrialización no se han hecho notar y en general se utilizan para bombear agua de los pozos.

Las primeras bombas eólicas aparecieron en Estados Unidos en 1854, y fueron desarrolladas por Daniel Halladay. Se trataba de rotores de múltiples alabes (multipala) acoplados a una bomba de pistón (Fig. 10).

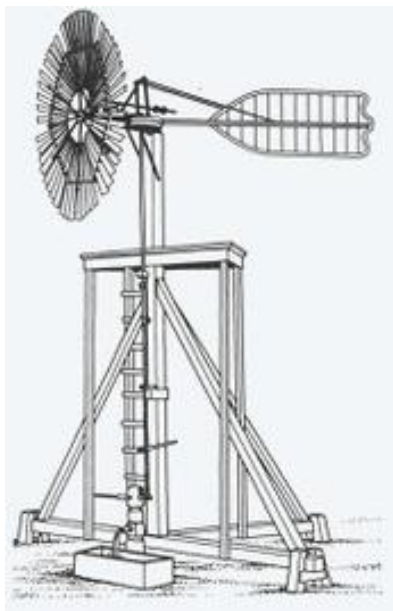


Fig. 10 Rotor de múltiples alabes (multipala)

En 1884, Steward Perry fabricó otro modelo con alabes metálicos. Ese molino, conocido como "multipala americano", era un molino mucho más ligero que sus antecesores y llegó a convertirse en el molino de viento más extendido de cuantos hayan existido (Fig. 11). Tenía un rotor de 3 metros de diámetro, un número de palas

que oscilaba entre 18 y 24 e iba montado sobre un eje horizontal en la parte superior de una torre metálica.



Fig. 11 Multipala Americano

Actualmente, siguen desarrollando nuevas tecnologías donde la eólica representa una mejora en su innovación y eficiencia de producción, adaptándola a diferentes mercados (Fig. 12)

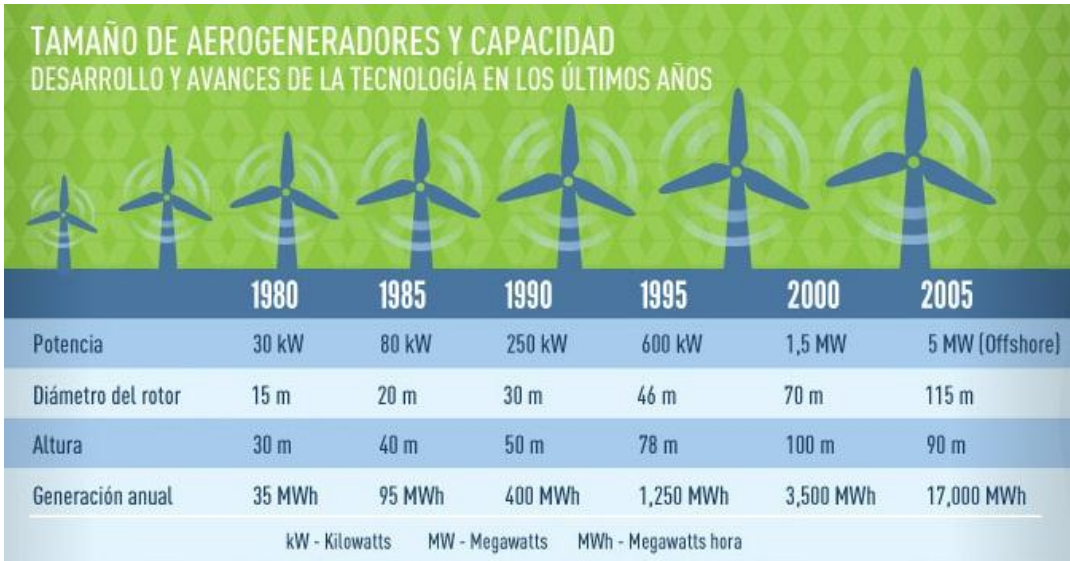


Fig. 12 Tamaño de Aerogeneradores y capacidad en los últimos años
Fuente: Asociación Mexicana de Energía Eólica AMDEE [6]

4.4 LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

Dentro de Latinoamérica, México se posiciona como uno de los líderes en inversión y proyección de capacidad a instalar (Fig. 13), a pesar de que hay reformas y leyes que deben ser mejoradas [6].

De acuerdo a lo anterior, México está realizando un esfuerzo para impulsar reformas legislativas y medidas legales que le otorguen mayor solidez al desarrollo de energías renovables, especialmente la eólica, la cual presenta un desarrollo tecnológico ligado a su aprovechamiento, señalándonos que los proyectos basados en esta fuente energética son viables y rentables [6].



Fig. 13 Zonas con potencial para la explotación eólica
Fuente: Asociación Mexicana de Energía Eólica AMDEE [6]

Actualmente, la generación de energía eléctrica en México por medios eólicos representa un bajo porcentaje de la producción total de energía. Pero acorde con el potencial eólico estimado para México se han logrado varios proyectos eólicos los cuales están en operación (Tabla 3).

Tabla 3 Proyectos Eólicos en operación en México. Última actualización – Diciembre 2012

Parque	Turbinas	Capacidad MW
La Venta I	Vestas	1.6
La Venta II	Gamesa	83.3
Parques Ecológicos de México	Gamesa	79.9
Eurus Acciona, Fase I	Acciona	37.5
Eurus Acciona, Fase II	Acciona	212.5
Bii nee Stipa I	Gamesa	26.4
La mata-La Ventosa	Clipper	67.5
Fuerza Eólica del Istmo	Clipper	50.0
Fuerza Eólica del Istmo II	Clipper	30.0
La Ventana III	Gamesa	102.0
Oaxaca II, III y IV	Acciona	306.0
Oaxaca I	Vestas	101.0
Bii Nee Stipa II	Gamesa	74.0
Piedra Larga – Fase I	Gamesa	90.0
Bii Nee Stipa III	Gamesa	70.0
La Rumorosa I	Gamesa	10.0
TOTAL DE ENERGÍA EÓLICA INSTALADA:		1,341.7 MW

Fuente: Asociación Mexicana de Energía Eólica AMDEE [6]

De igual forma, los lugares identificados con viento de alta calidad se encuentran las zonas costeras, especialmente en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Oaxaca y Yucatán. En la Figura 14 se puede observar las áreas detectadas con potencial eólico de acuerdo a estudios realizados por la CFE y el IIE junto con varios gobiernos estatales [8].

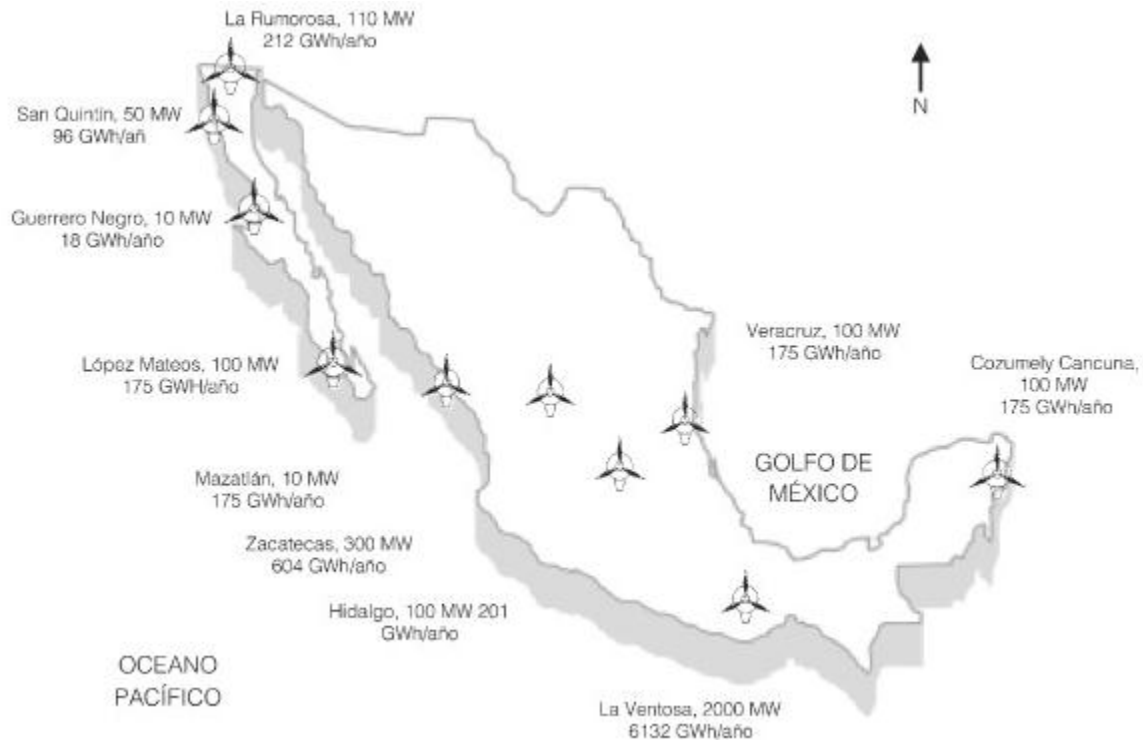


Fig. 14 Zonas de aprovechamiento potencial Eólico en México

4.5 ENERGÍA EÓLICA EN BAJA CALIFORNIA

Baja California y otras partes de México tienen fuertes vientos similares a los que hay en las mejores áreas del Mundo. En términos del total del potencial de energía, La Rumorosa podría fácilmente abastecer miles de MW.

Por lo que, Baja California se estima se convertirá en líder a nivel nacional en materia de energía eólica para el año 2015, con una capacidad instalada estimada aproximadamente 3 mil 810 MW [8].

De acuerdo a la Comisión Estatal de Energía de Baja California, CEE, la entidad tiene áreas donde sopla el viento de manera permanente. Mediante el Atlas de Recursos Renovables Eólicos y Solares que presentó el gobierno federal a finales del año 2010, se ha descubierto un potencial eólico de 71 mil mega watts (MW) a nivel nacional, que es mucho más de toda la capacidad instalada actualmente en el país [8].

La Rumorosa I (Fig. 15) cuenta con una capacidad instalada de 10 mega watts y tiene una generación estimada de 27 millones 471 mil kilowatts-hora anuales, para abastecer de energía eléctrica a los municipios del estado evitando que se emitan al ambiente 17 mil toneladas de bióxido de carbono cada año [8].



Fig. 15 Parque eólico La Rumorosa con 10 MW instalados

CAPÍTULO 5. SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO

En el siguiente capítulo presentaremos el funcionamiento y las características del sistema de energía híbrido eólico-fotovoltaico así como los equipos que son requeridos para la instalación.

Por ejemplo, podemos encontrar que existen dos formas de almacenar la energía generada por un sistema híbrido, tanto un arreglo de paneles fotovoltaicos o por aerogeneradores de baja potencia. Estos pueden estar conectados de forma;

Autónomos: estos sistemas se basan en Paneles Solares y baterías de almacenamiento, donde las baterías sirven para recolectar la energía producida por el panel solar durante el día y en la noche la energía almacenada en la batería podría alimentar a la demanda energética (Fig. 16).

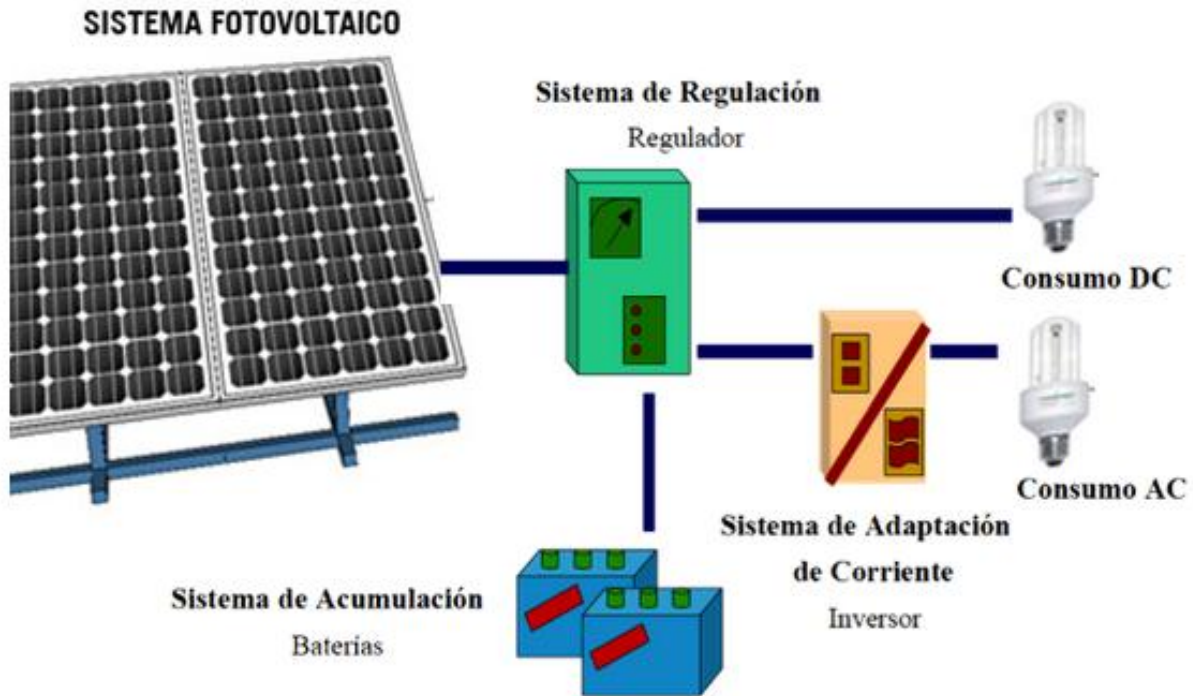


Fig. 16 Sistema Fotovoltaico Autónomo

Interconectados a la Red de la CFE: Es conocido como el método más común para proporcionar energía solar a una casa u oficina ya que tiene la ventaja de que la instalación eléctrica es la misma que utiliza Comisión Federal de Electricidad (Fig. 17).

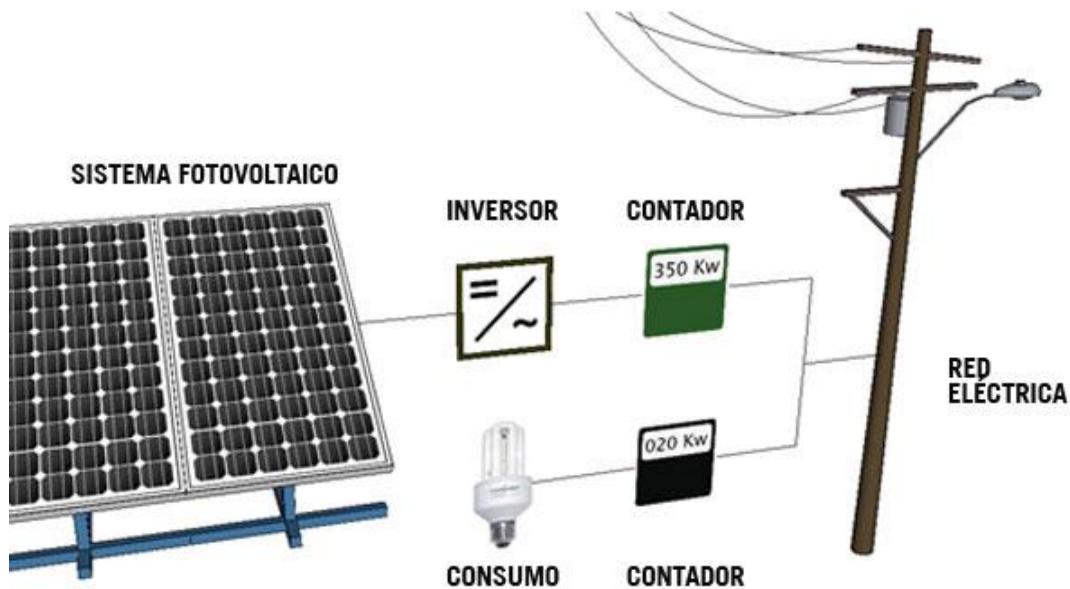


Fig. 17 Sistema Fotovoltaico interconectado a la red

En este caso, las instalaciones conectadas a la red se caracterizan por poder invertir la energía generada en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica.

Por consiguiente, nos enfocaremos en un sistema híbrido Eólico-Solar de baja potencia con interconexión a la Red de la CFE [14] el cual se compone de (Fig. 18);

1. Fotovoltaico
2. Aerogenerador
3. Convertidor/Inversor
4. Interruptor
5. Medidor bidireccional CFE

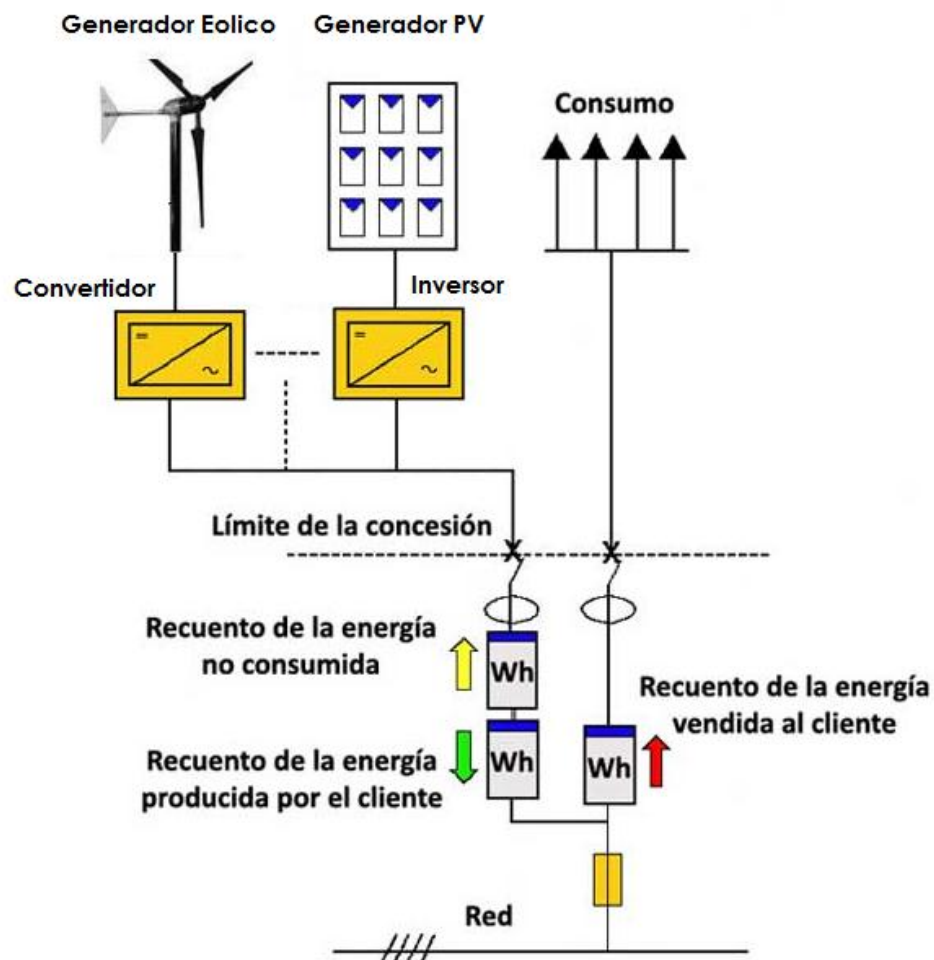


Fig. 18 Conexiones para un Sistema Híbrido interconectado a la red de CFE

El funcionamiento del sistema híbrido interconectado a la red es mediante un aerogenerador de baja potencia (menor a 100 kW), que su energía generada pasa a través de un convertidor de carga, el cual se encargara de suministrar la energía producida a la red pasando por el medidor bidireccional.

En paralelo, se encuentra el arreglo fotovoltaico, el cual trabaja en Corriente Continua por lo que es necesario la presencia de un inversor de carga que transforme la corriente continua en alterna. A su vez, estará interconectado a la red pasando por el medidor bidireccional el cual se encarga de contabilizar tanto la energía producida como la energía no consumida (Fig. 18).

Por lo que, otro de los elementos importantes dentro del sistema de conversión de energía renovable, es el inversor (Fig. 19). Dicho equipo, tiene la función de transformar de Corriente continua a Corriente alterna, la cual es necesaria para encender cualquier tipo de artefacto eléctrico de uso común. Es necesario determinar la configuración óptima de los componentes para satisfacer la carga eléctrica, así como, asegurar una correcta operación en todo el margen de tensiones de entrada permitidas por el sistema.



Fig. 19 Componentes principales que forman la instalación FV

Por otro lado, cuando se presentan excedentes de energía producida será inyectada a la red de CFE a través del medidor bidireccional haciendo que se acredite a su favor. Pero en ocasiones existirán los días en que el consumo es mayor que la

energía producida, por lo que, se abastecerá de energía obtenida por la red de CFE pagando solo el consumo neto que resulte de lo consumido menos lo enviado a la red.

Así mismo, la diferencia a favor será conservada hasta usarse en un plazo no mayor a 12 meses el cual se especifica en el “Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Solar en Pequeña Escala”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de junio del 2007.

5.1 VENTAJAS DEL SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO

- Su impacto visual es reducido.
- Energía rentable, limpia e inagotable.

5.2 INCONVENIENTES DEL SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO

- No es posible tener un buen control del funcionamiento general del sistema.
- Realizar un correcto dimensionamiento de los diversos componentes con la finalidad de garantizar en todo momento la entrega de energía que demanda la carga.

CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO EN MEXICALI, B.C.

6.1 ENERGÍA DEL VIENTO

La velocidad del viento constante es muy importante para la cantidad de energía que un aerogenerador puede transformar en electricidad, por lo que, la potencia eólica es función de la densidad del aire, el área del rotor del aerogenerador y la velocidad del viento.

Así mismo, la energía en el viento puede estimarse teniendo en cuenta el flujo de aire que pasa por el rotor de la turbina lo que representaría el área de barrido del rotor el cual se encuentra definido por la longitud del alabe (Fig. 20).

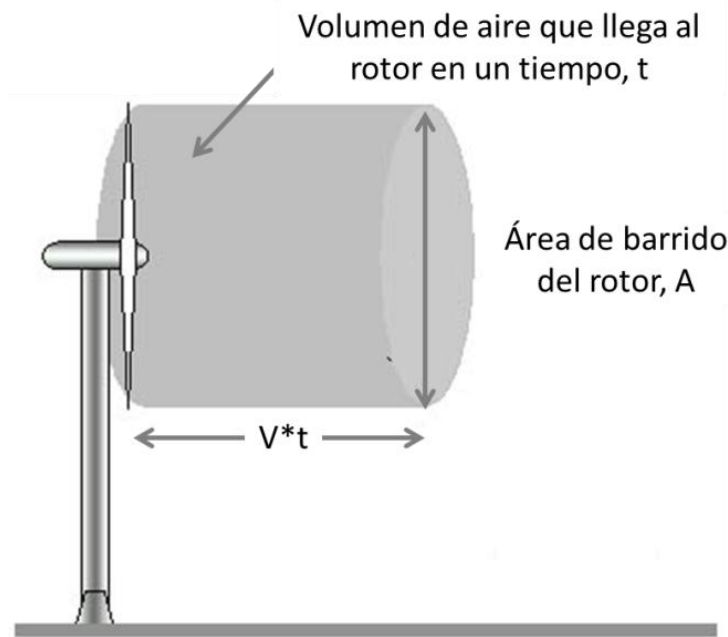


Fig. 20 Área de barrido de un álabe

A su vez, la potencia cinética es función de la velocidad del viento y del flujo másico, el cual se encuentra en función del flujo volumétrico y de la densidad del aire. El flujo volumétrico de viento se expresa mediante;

$$Flujo_{volumétrico} = AV \quad [m^3/s] \quad (1)$$

donde:

A=área del rotor eólico [m^2]

V=velocidad del viento [m/s]

Mientras que el flujo másico de viento se expresa mediante:

$$Flujo_{m\acute{a}sico} = \rho AV \quad [kg/s] \quad (2)$$

donde:

ρ =densidad del aire [1.2 kg/m^3]

A=área del rotor eólico [m^2]

V=velocidad del viento [m/s]

Para determinar la energía cinética del viento se expresa en función de las propiedades del fluido y es conveniente verlo como parte de la energía de un fluido fluyente llamándolo energía de flujo.

La única forma de energía mecánica que posee el viento y que puede convertirse por completo en trabajo es la energía cinética

$$Energía_{cinética} = \frac{1}{2} mV^2 \quad [J] \quad (3)$$

donde:

$m = \text{masa de aire} [kg]$

$v = \text{velocidad del viento} [m/s]$

Mientras que la Potencia Cinética del viento puede ser evaluada mediante:

$$Potencia_{cinética} = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad [W] \quad (4)$$

donde:

ρ =densidad del aire [1.2 kg/m^3]

A=área del rotor eólico [m^2]

V=velocidad del viento [m/s]

La potencia extraíble del viento es función cubica de la velocidad, función cuadrática de la longitud de la pala. La potencia cinética del viento puede expresarse por unidad de área del rotor.

6.2 TEOREMA DE BETZ

En 1926, el Dr. Albert Betz formuló la máxima potencia teórica que se puede extraer del viento, estableciendo para ello el Coeficiente de Betz. Debido a que el rotor eólico no puede convertir toda la energía eólica en energía de rotación, ya que si así fuera, la velocidad del viento en la salida del rotor, sería nula, impidiendo la entrada de más aire.

Así pues, se demuestra que en el caso de un aerogenerador ideal, la velocidad del viento de salida sería como mínimo 1/3 de su velocidad inicial. Para ello, se define el coeficiente de potencia (C_p) como la relación entre la energía que contiene el viento que pasa a través de la sección barrida por el rotor eólico y la energía de rotación que finalmente se consigue.

El desempeño de un generador eléctrico está caracterizado por el coeficiente de potencia C_p dado por:

$$C_p = \frac{\text{Electricidad producida por el aerogenerador}}{\text{Energía total disponible en el viento}} \quad (5)$$

$$C_p = \frac{\text{Potencia nominal}}{\left(\frac{1}{2} * \rho * A * v^3\right)} \quad (6)$$

Tal que C_p representa el límite máximo de la fracción de la potencia en el viento que se puede transformar mediante un aerogenerador. Betz (1919) demostró que el valor máximo del C_p para un aerogenerador es:

$$C_{p,max} = 16/27 = 0.59$$

Es decir, un aerogenerador ideal sólo puede extraer como máximo el 59 % de la potencia contenida en el viento, este es el límite superior de las eficiencias de las turbinas y hélices.

6.3 MÉTODO FINKELSTEIN SCHAFFER (FS) STATISTICS

Una base representativa de datos meteorológicos para un año de duración es conocida como año típico meteorológico (TMY por sus siglas en ingles). El TMY es un conjunto de datos de los valores horarios de radiación solar y los elementos meteorológicos [9].

Se compone de meses seleccionados de años individuales para formar un año completo. Contiene valores de radiación solar (Directa y global), temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad de viento y dirección para las horas del año. El uso del archivo TMY es solo para simulaciones en sistemas de conversión de energía solar y para sistemas de construcción.

La utilización de un año promedio o típico de datos meteorológicos con un modelo de simulación se utiliza para proporcionar una estimación del rendimiento del sistema a largo plazo del cual se puede observar la sensibilidad de rendimiento del sistema para las secuencias del tiempo por hora, día o mes.

Independientemente de la forma en que se selecciona el “año típico” no se puede esperar a que las secuencias de tiempo tengan el mismo comportamiento. Sin embargo, el resultado simulado de un sistema donde se utilizó el “año promedio” puede proporcionar una buena estimación del rendimiento del sistema a largo plazo [9].

Uno de los métodos más comunes para generar un TMY es el método propuesto por Hall et al. (1978) utilizando el método estadístico Finkelstein-Schafer (FS)

El método algorítmico FS es el siguiente: primero, la función de distribución acumulativa (CDF por sus siglas en inglés) es calculada para cada parámetro meteorológico de cada mes, así como para cada año del periodo a evaluar.

Para calcular el CDF para cada parámetro, los datos se agrupan en intervalos y el CDF es calculado contando los casos en el mismo intervalo.

El siguiente paso es comparar el CDF de los parámetros meteorológicos, tal como la radiación horizontal global, por cada mes de cada año específico con su respectivo CDF de largo plazo que componen el año en el periodo seleccionado.

El FS es la diferencia media entre el CDF de largo plazo, CDF_{LT} ; y el CDF de corto plazo, calculado en los intervalos utilizados para la estimación del CDF, obtenido por

$$FS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CDF_{LT}(Z_i) - CDF_{SM}(Z_i)| \quad (7)$$

Donde

N = número de intervalos (de forma predeterminada, $N=31$)

Z_i = valor de FS para el mes del año específico y el parámetro meteorológico.

El siguiente paso es la aplicación de los factores de ponderación, WF_j , al valor de FS, utilizando uno para cada uno de los parámetros considerados meteorológicamente, FS_j , correspondiente a cada mes específico en el periodo seleccionado.

De esta manera, una suma ponderada, o valor promedio, WS , puede ser obtener asignándolo al mes respectivo; esto es,

$$WS = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M WF_j FS_j \quad (8)$$

Donde M=número de parámetros en la base de datos.

Cuanto menor sea el WS, mejor será la aproximación a un mes típico meteorológico (TMY).

Aplicando este proceso para todos los meses del periodo, se forma un año típico con los meses seleccionados con los valores más pequeños WS.

Para el siguiente trabajo se generó un archivo TMY el cual contiene los parámetros de radiación global horizontal, radiación directa normal, radiación difusa horizontal, precipitación, velocidad de viento, temperatura ambiente, dirección de viento proporcionados por la estación climatológica de CONAGUA (Tabla 4).

Local standard time					Global horizontal			Direct normal radiation			Diffuse horizontal radiation			Global horiz. Illuminance			Direct normal illuminance		
Month	Day	Hour	Extraterrestrial horizontal radiation	Extraterrestrial direct normal radiation	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty
1	16	8	0160	1412	0071	?	4	0221	?	4	0046	?	4	0073	I	4	0098	I	4
1	16	9	0408	1412	0270	?	4	0711	?	4	0065	?	4	0277	I	4	0614	I	4
1	16	10	0610	1412	0446	?	4	0913	?	4	0052	?	4	0479	I	4	0926	I	4
1	16	11	0751	1412	0561	?	4	0903	?	4	0081	?	4	0595	I	4	0897	I	4
1	16	12	0822	1412	0639	?	4	0936	?	4	0094	?	4	0675	I	4	0927	I	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1	24	0000	0000	0000	?	4	0000	?	4	0000	?	4	0000	I	4	0000	I	4
12	1	1	0000	0000	0000	?	4	0000	?	4	0000	?	4	0000	I	4	0000	I	4
12	1	2	0000	0000	0000	?	4	0000	?	4	0000	?	4	0000	I	4	0000	I	4
12	1	3	0000	0000	0000	?	4	0000	?	4	0000	?	4	0000	I	4	0000	I	4
12	1	4	0000	0000	0000	?	4	0000	?	4	0000	?	4	0000	I	4	0000	I	4

Wind direction			Wind speed			Visibility			Ceiling height				Precipitable water			Aerosol optical depth			Snow depth		
Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Present weather	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty	Data value	Flag for data source	Flag for data uncertainty
288	E	7	000	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	010	E	7	999	?	0	999	?	0
296	E	7	000	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	010	E	7	999	?	0	999	?	0
283	E	7	000	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	010	E	7	999	?	0	999	?	0
294	E	7	000	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	010	E	7	999	?	0	999	?	0
269	E	7	000	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	009	E	7	999	?	0	999	?	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
124	E	7	070	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	010	E	7	999	?	0	999	?	0
023	E	7	060	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	009	E	7	999	?	0	999	?	0
042	E	7	050	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	009	E	7	999	?	0	999	?	0
035	E	7	070	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	009	E	7	999	?	0	999	?	0
020	E	7	080	E	7	9999	?	0	99999	?	0	99999999?0	009	E	7	999	?	0	999	?	0

Tabla 4 Año Típico Meteorológico (TMY) generado para Mexicali Baja California

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE ESTUDIO

7.1 CONSUMO ENERGÉTICO

En la ciudad de Mexicali existen zonas habitacionales de clase media - alta con un alto consumo energético principalmente en los meses de verano. Debido a esto, se censaron 50 hogares en los cuales habitan 3 o 4 personas, tomando en cuenta que dos de ellas trabajan y el resto tienen actividades escolares.

Por lo tanto, los habitantes de dichas casas se encuentran durante los horarios nocturnos y pocas horas durante el mediodía. En base a esto, se recopilaban los datos de consumos de energía durante el año 2010 de dichas casas para generar una base de datos determinando el consumo mínimo y el consumo promedio durante el 2010, estos resultados fueron utilizados en el siguiente trabajo.

Por lo que, se simuló un sistema híbrido eólico-fotovoltaico de baja potencia interconectado a la red con los siguientes consumos (Tabla 5 y Fig. 21);

Tabla 5 Consumo Energético típico total anual

	C. Mínimo kWh	C. Promedio kWh
Enero	206	294
Febrero	146	258
Marzo	176	266
Abril	180	263
Mayo	198	284
Junio	296	508
Julio	745	1247
Agosto	975	1604
Septiembre	767	1432
Octubre	541	1108
Noviembre	210	399
Diciembre	153	296
Total	4,593	7,958

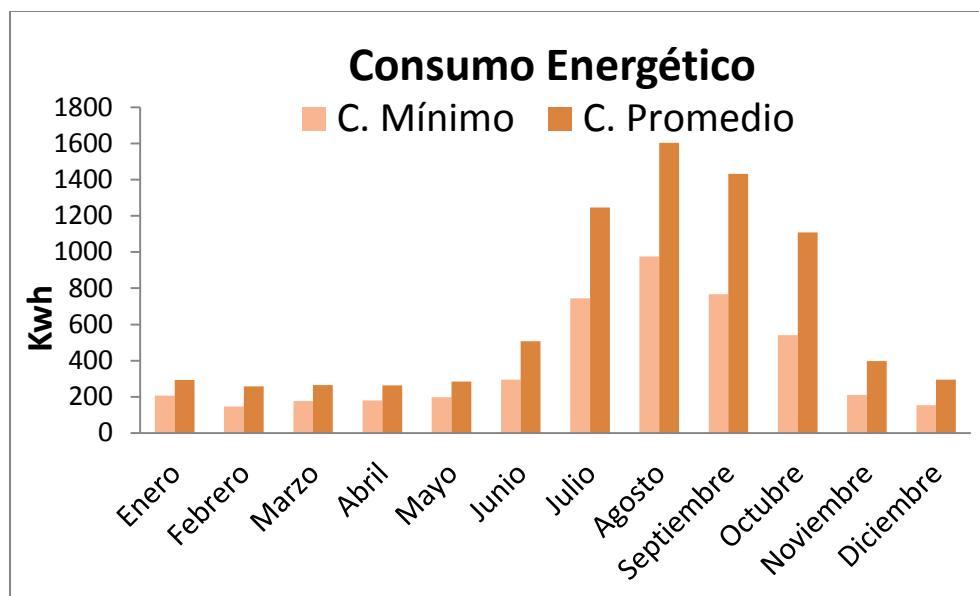


Fig. 21 Consumo energético anual de las viviendas a estudiar

7.2 ELECTRODOMÉSTICOS

Después de seleccionar las viviendas a estudiar se obtuvo un listado con los electrodomésticos y su potencia las cuales se muestran en la Tabla 6;

Tabla 6 Consumo energético promedio mensual

MUEBLE	POTENCIA
Ventilador de techo	65
Focos ahorradores	15
Máquina de cocer	125
Refrigerador	375
Cafetera	700
Extractor de frutas	300
Licuadora	350
Microondas	1200
DVD	25
Computadora	300
Televisión	120
Radio	40
Lavadora	400
Plancha	1000
Aspiradora	800
Refrigeración Std	575

Con lo anterior se observa el uso desmedido de equipos domésticos debido a su clima extremo en la ciudad de Mexicali B.C., tanto en verano como en invierno. Las casas encuestadas cuentan con un clima artificial, un equipo de refrigeración y ventiladores techo, los cuales, debido a su potencia y a las horas de uso hacen que el consumo energético sea muy alto en los meses de verano, junio-agosto.

Por lo tanto, las emisiones de CO_2 emitidas por hogar dependen de la cantidad de equipos electrodomésticos y las horas de uso. Por ejemplo, una cafetera con una potencia de 700 W emite 170.5 kg CO_2 de contaminantes al año, mientras que un horno de microondas con una potencia de 1,200 W emite 292.3 kg CO_2 al año [10];

7.3 AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA

Uno de los componentes del sistema híbrido a instalarse será el aerogenerador de baja potencia. En el siguiente trabajo, para el caso de la vivienda con consumo mínimo y consumo promedio, utilizaremos el aerogenerador modelo H3.1-1000 del proveedor Hummer con las siguientes características (Fig. 22 y Tabla 7);

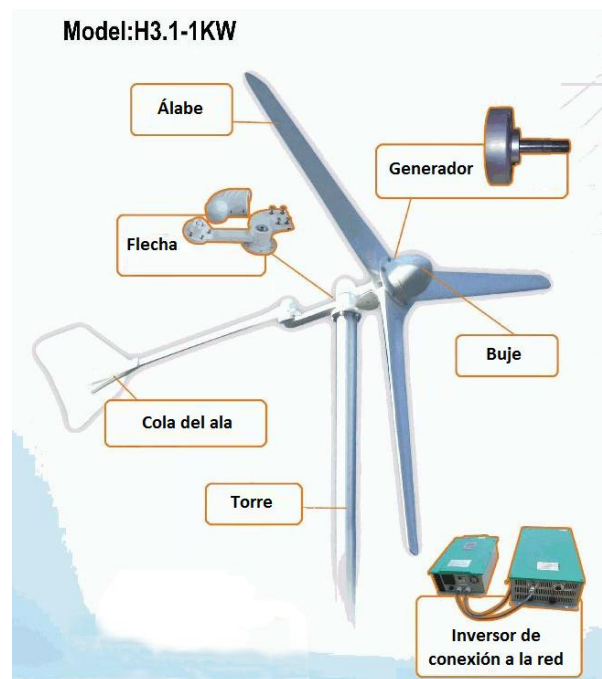


Fig. 22 Aerogenerador Hummer Modelo H3-1000

Tabla 7 Especificaciones del proveedor para el modelo H3.1-1kW bajo condiciones estándar de prueba

Especificaciones Técnicas	
Potencia nominal (W)	1,000
Potencia Máxima de salida (W)	2,000
Voltaje de baterías (Vdc)	60
Tensión de salida del sistema (Vac)	110/220
Velocidad de arranque (m/s)	3
Velocidad nominal del viento (m/s)	9
Velocidad del viento de supervivencia (m/s)	50
Eficiencia del generador	>0.8
Relación de la energía eólica (Cp)	0.45
Tipo de generador	Alternador de imán permanente
Peso del generador (kg)	15
Cantidad hélices	3
Diámetro (m)	3.1

De acuerdo a estudios realizados por el proveedor, la curva de potencia del aerogenerador Hummer H3-1000 (Fig. 23) tiene una velocidad de arranque de 3 m/s y una velocidad nominal de 9 m/s. Por lo que, es posible obtener una potencia nominal de 1kW y su potencia máxima de salida puede llegar a ser de 2 kW.

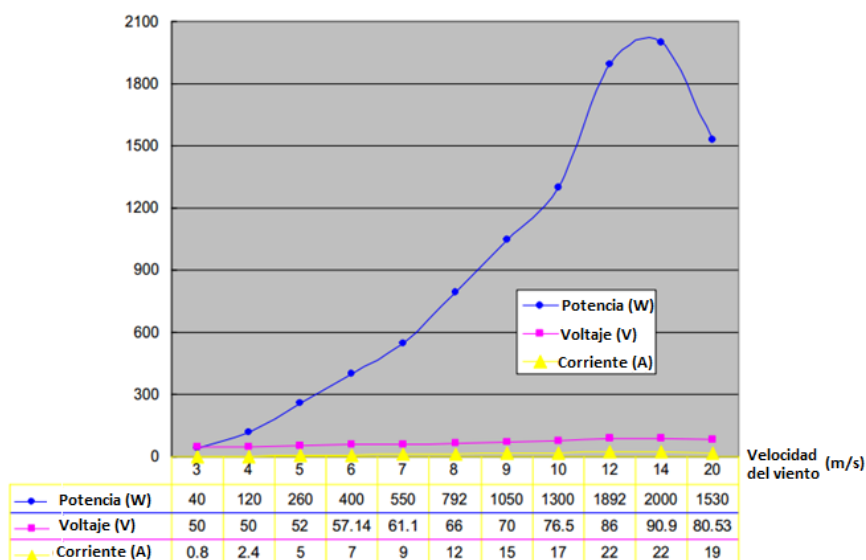


Fig. 23 Curva de potencia del Proveedor para el aerogenerador H3.1-1kW

Para el caso de la propuesta de instalar una granja eólica-fotovoltaica para abastecer el consumo energético del fraccionamiento encuestado, utilizaremos el

aerogenerador modelo H3.8-2000 del proveedor Hummer el cual señala las siguientes características sobre el equipo (Tabla 8 y Fig. 24);

Tabla 8 Especificaciones del proveedor para el modelo H3.8-2kW bajo condiciones estándar de prueba

Especificaciones Técnicas	
Potencia nominal (W)	2,000
Potencia Máxima de salida (W)	3,200
Tensión de carga (V)	DC 120
Tensión de salida del sistema (Vac)	150/200
Velocidad de arranque (m/s)	3
Velocidad nominal del viento (m/s)	9
Eficiencia del generador	>0.8
Relación de la energía eólica (Cp)	0.45
Peso del generador (kg)	25
Cantidad hélices	3
Diámetro (m)	3.8

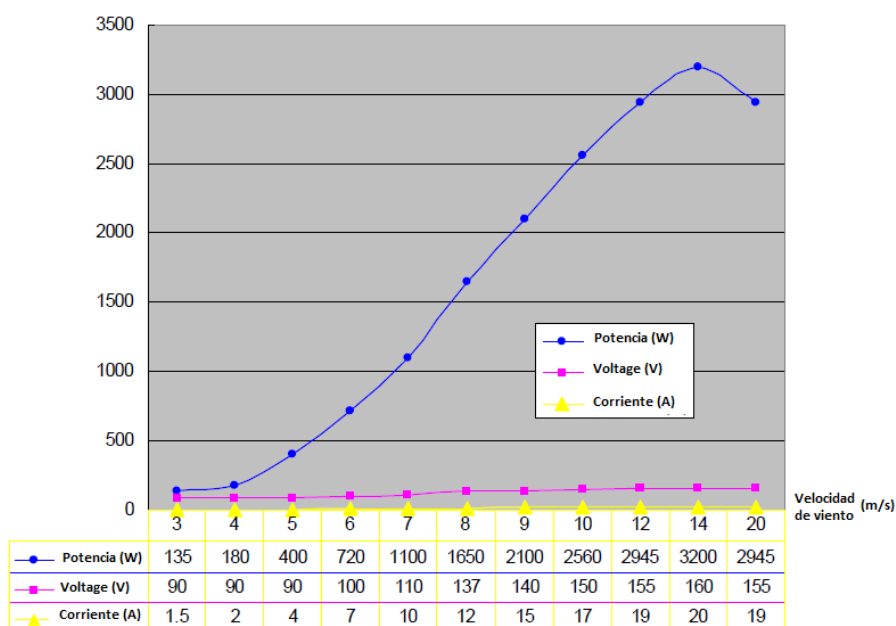


Fig. 24 Curva de potencia del Proveedor para el aerogenerador H3.8-2kW

De acuerdo a lo anterior, el aerogenerador H3.8-2kW tiene la misma velocidad de arranque que el modelo H3.1-1kW a utilizarse en la residencia con consumo mínimo y consumo promedio pero la potencia nominal que puede llegar a producir es de 2 kW con una velocidad nominal de 9 m/s.

7.4 PANEL FOTOVOLTAICO

Otro de los componentes del sistema híbrido a instalarse es el panel fotovoltaico, el cual estará en conjunto con el aerogenerador interconectado a la red de CFE. Contemplando la radiación solar y temperaturas que se tienen en Mexicali, B.C utilizaremos el panel fotovoltaico modelo ET230PC del proveedor Econotecnia [11] con las siguientes características (Tabla 9 y Fig. 25);

Tabla 9 Especificaciones del proveedor para el modelo ET230PC bajo condiciones estándar de prueba

Especificaciones Técnicas	
Potencia Máxima: PM (W)	230
Voltaje a Máxima potencia: Vmp (Vdc)	30.7
Corriente a Máxima potencia: Imp (A)	7.5
Voltaje a circuito abierto: Voc	36.9
Corriente a Corto Circuito: Isc (A)	7.95
Máximo voltaje de sistema: (Vdc)	1,000
Temperatura de Operación: °C	-40 a +85
Tolerancia de potencia: (%) T	0 a 5
Eficiencia del panel (%)	15.2
Tipo de Celda Solar	Silicio Policristalino
Configuración	60 celdas (arreglo 6x10)
Dimensiones del panel	1645mm x 994mm x 40mm
Área panel (m ²)	1.63
Peso Neto del panel	19.8 kg
Cubierta	Vidrio Templado
Marco	Aluminio Anodizado

En este caso, el panel fotovoltaico modelo ET230PC del proveedor Econotecnia presenta un voltaje a circuito abierto (Voc) de 36.9 V. considerado como el máximo voltaje disponible en la celda solar que ocurre a corriente cero. Es el voltaje que se mide en el panel cuando no pasa corriente por él, es decir, sin carga conectada en la salida (Fig. 25).

De acuerdo a las características del proveedor la corriente a corto circuitos (Isc) es de 7.95 A., dicha corriente, es la corriente que fluye a través de la celda solar, cuando el voltaje cruza por el valor cero (Fig. 25). A su vez, es la corriente total

producida en la celda solar mediante la irradiación solar, es decir, cuando la celda recibe la mayor excitación de fotones en su estructura interna.

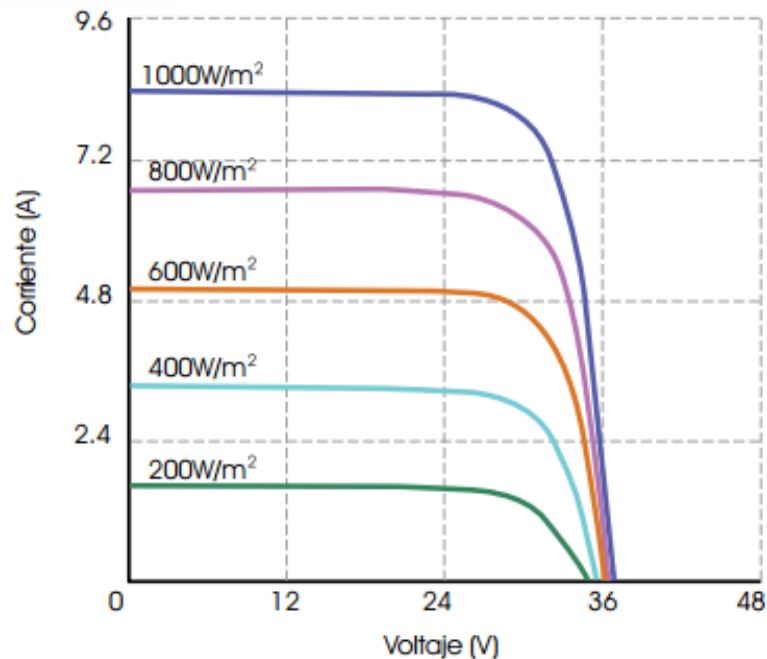


Fig. 25 Curva característica del panel solar ET230PC

Otra de las características que presenta el panel solar ET230PC, es su voltaje a máxima potencia (V_{mp}) de 30.7 Vdc, el cual es, el voltaje disponible a la máxima potencia de panel fotovoltaico. Mientras que su corriente a máxima potencia (I_{mp}) es la disponible a la máxima potencia del panel fotovoltaico, en este caso, de 7.5 A.

Para el caso de instalar una granja eólica-fotovoltaica, se utilizará un panel solar diferente al que se evaluó para la casa con consumo mínimo y consumo promedio. El modelo considerado es el STP290 – 24/Vd del proveedor Suntech, las características del proveedor son las siguientes;

Tabla 10 Especificaciones del proveedor para el modelo STP290 – 24/Vd bajo condiciones estándar de prueba

Especificaciones Técnicas	
Potencia Máxima: PM (W)	290
Voltaje a Máxima potencia: Vmp (Vdc)	36.8
Corriente a Máxima potencia: Imp (A)	8.02
Voltaje a circuito abierto: Voc	44.9
Corriente a Corto Circuito: Isc (A)	8.53
Máximo voltaje de sistema: (Vdc)	1,000
Temperatura de Operación: °C	-40 a +85
Eficiencia del panel (%)	14.9
Tipo de Celda Solar	Silicio Policristalino
Configuración	72 celdas (arreglo 6x12)
Dimensiones del panel	1956mm x 992mm x 50mm
Área del panel (m ²)	1.94
Peso Neto del panel	27 kg
Cubierta	Vidrio Templado
Marco	Aluminio Anodizado

En la figura 26 se observa que a un voltaje a circuito abierto (Voc) de 44.9 V. se tendrá una corriente a corto circuitos (Isc) de 8.53 A. dando una potencia máxima igual a 290 W. Estas características son proporcionadas por el proveedor el cual realizo sus pruebas a un temperatura ambiente de 25 °C.

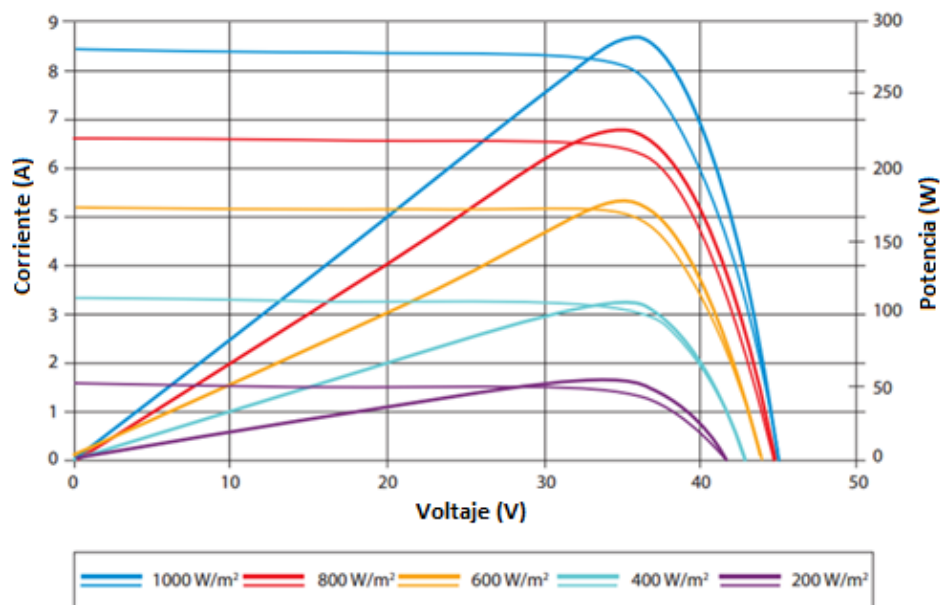


Fig. 26 Grafica de corriente-voltaje y potencia-curva de voltaje

CAPÍTULO 8. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se evaluó el potencial eólico y el potencial fotovoltaico en la ciudad de Mexicali, B.C. en los años 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 con datos de velocidades de viento y radiación obtenidos de la estación meteorológica de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los datos fueron tomados a una altura de 10 metros por encima del suelo.

Para evaluar el recurso en la ciudad de Mexicali, B.C. se generó un archivo típico meteorológico (TMY) con la información proporcionada por CONAGUA y mediante el software TRNSYS se evaluara el comportamiento tanto del aerogenerador como del fotovoltaico con las condiciones meteorológicas en dicha ciudad.

Se encontró una alta variación en las velocidades de viento, como se puede observar en la figura 27, ya que Mexicali es una ciudad que no cuenta con vientos frecuentes.

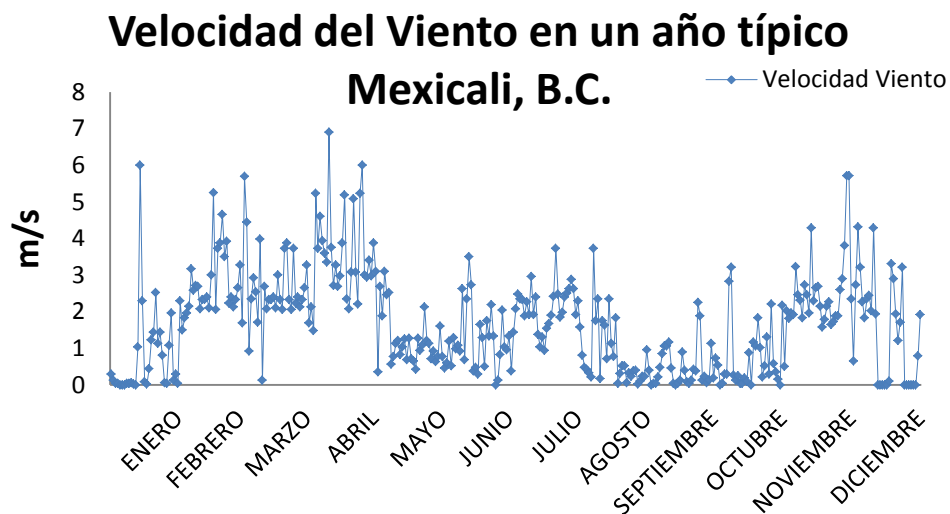


Fig. 27 Comportamiento de la Velocidad del viento en año típico

Las altas velocidades de viento se encuentran en los meses de marzo y abril. La velocidad máxima alcanzada en el año típico es de 7 m/s y su dirección de viento se inclina hacia el Noroeste (Fig. 28).

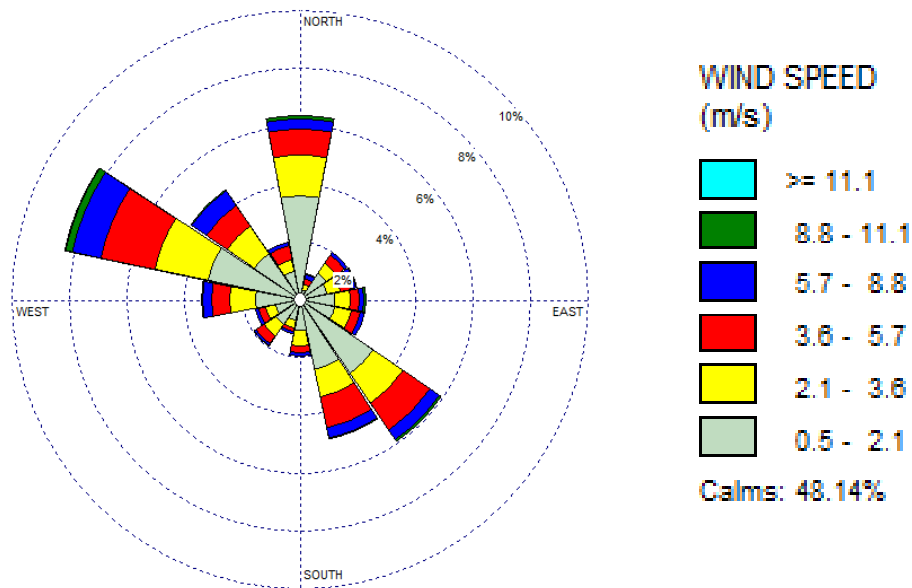


Fig. 28 Dirección del viento en la ciudad de Mexicali, B.C.

Por el otro lado, la radiación solar promedio es de 350 W/m² observando que en la ciudad es muy constante (Fig. 29). Por lo que, este recurso puede ser aprovechado por el sistema fotovoltaico interconectado a la red.

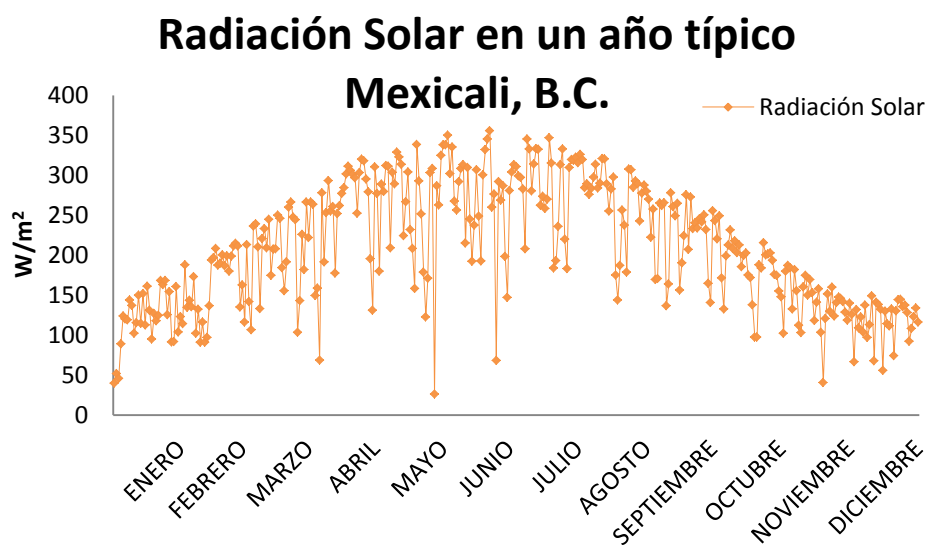
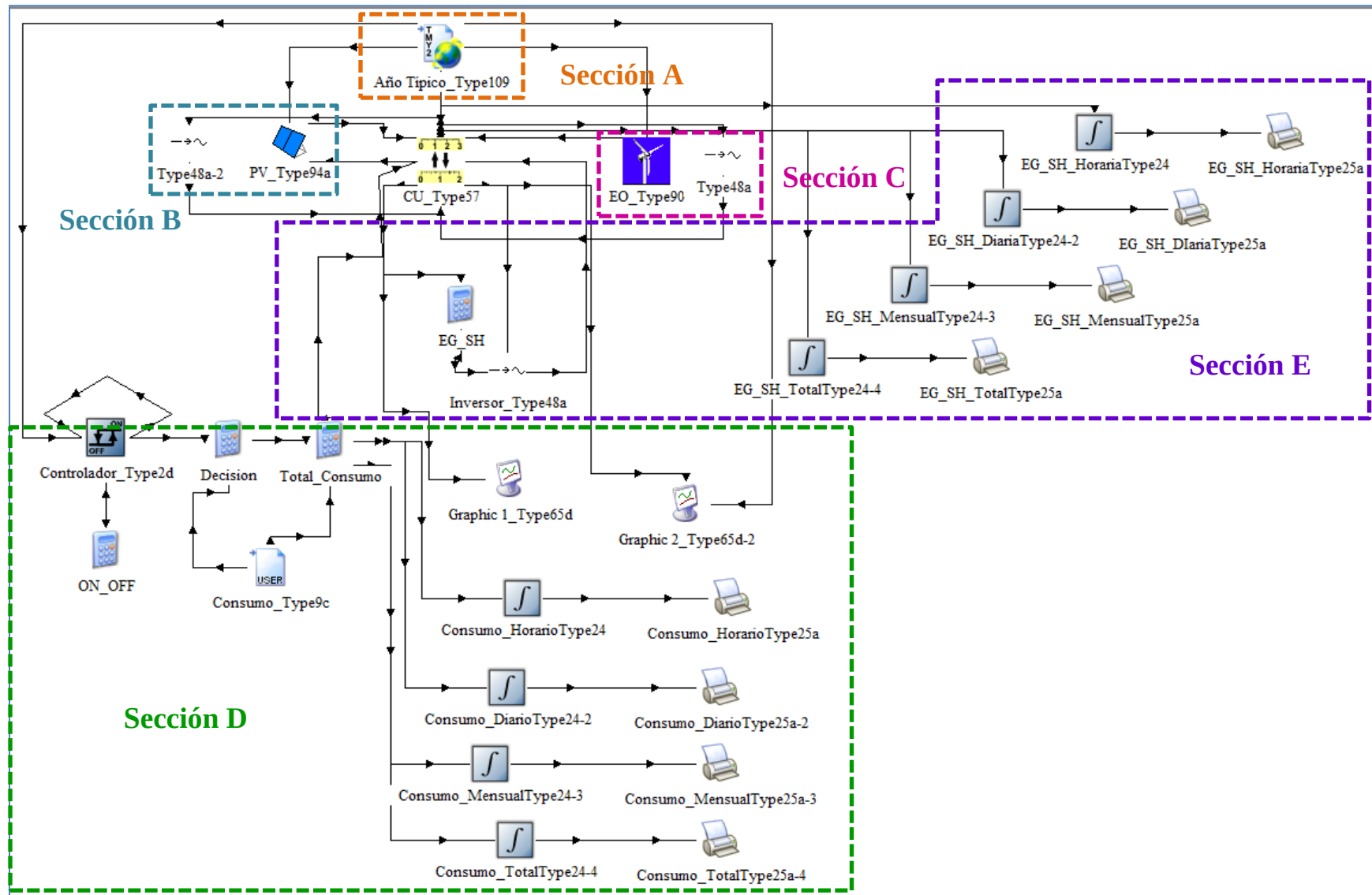


Fig. 29 Comportamiento de la Radiación solar en año típico

La Fig. 30 describe de manera gráfica un sistema híbrido eólico – fotovoltaico simulado en TRNSYS, el cual contiene 5 secciones: la sección A consiste del archivo meteorológico (TMY) el cual toma los datos del año típico generado.

La sección B es la instalación del sistema fotovoltaico con su inversor, mientras que la sección C consiste en la instalación del eólico con su inversor. La sección D muestra el consumo de energía que se tiene durante el año en la casa típica y por último, la sección E, muestra en conjunto lo que es el sistema híbrido eólico – fotovoltaico.

Fig. 30 Arreglo para un Sistema Híbrido en el Software TRNSYS



8.1 EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO: C. MÍNIMO

De acuerdo a los equipos evaluados en el capítulo 7 utilizaremos un S EO-FV el cual estará equipado con 10 paneles fotovoltaicos de 230 W cada uno y un aerogenerador de 1 kW para cubrir la demanda eléctrica anual (Tabla 11). Esta instalación será para la vivienda que presentó un consumo total anual de 4,593 kWh.

Tabla 11 Equipos a utilizarse en la vivienda con Consumo Mínimo

CONCEPTOS	CANT.
Panel Solar ET230PC 230 W.	10
Eólico - Hummer 1,000 W.	1
Inversor 2 kW	2
Inversor 230 W	2

A su vez, mediante TRNSYS fue posible obtener el comportamiento del recurso eólico y solar durante los diferentes meses del año típico (Fig. 31 y Fig. 32).

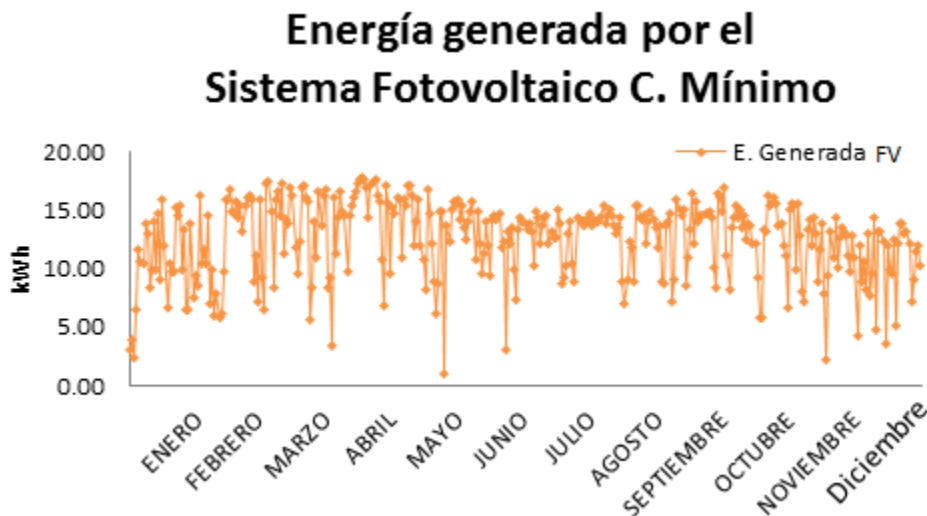


Fig. 31 C. Mínimo: Energía generada Sistema FV

Se observa que por parte del arreglo eólico se tiene mucha variabilidad en cuanto a generación de energía. Al compararlo con los paneles fotovoltaicos se observa que es más consistente su comportamiento (Ver apéndices).

Energía generada por el Sistema Eólico C. Mínimo

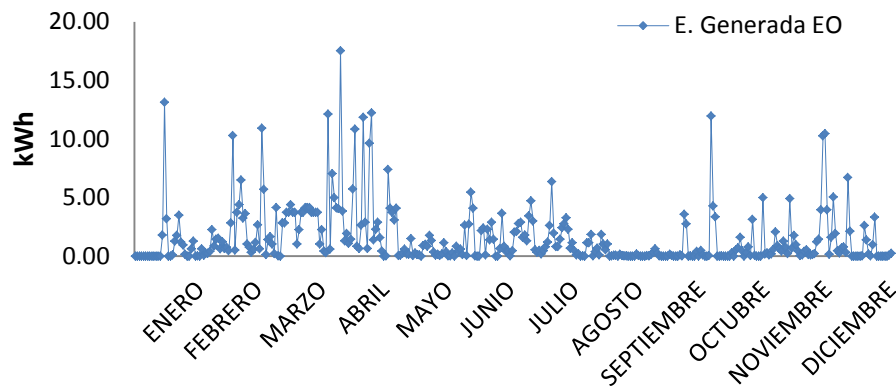


Fig. 32 C. Mínimo: Energía generada Sistema Eólico

Por otra parte, basándonos en la reglamentación por CFE, la cual permite la interconexión por medio de un medidor bidireccional para sistemas de energías renovables, se analizó la energía generada por parte del sistema contra el consumo eléctrico presentado en el 2010, del cual, los excedentes serán contabilizados y usados cuando se tenga un déficit de energía para cubrir el consumo (Fig. 33).

Consumo Energético vs Energía Generada

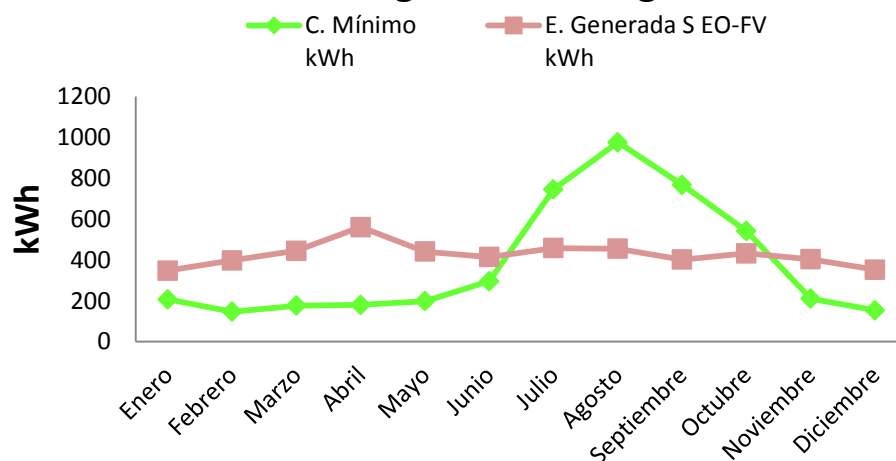


Fig. 33 Comparativo del Consumo Mínimo de energía contra la energía generada

Como se puede observar en la Figura 34 y Tabla 12, el sistema abastecerá el consumo de energía en los meses de enero a junio teniendo excedentes de energía los cuales se irán a la red de CFE, que a su vez, se contabilizarán para ser utilizados en los meses de verano cuando el consumo es mayor que la energía generada por el sistema;

Tabla 12 Energía generada para cubrir consumo energético Mínimo

Mes	C. Mínimo kWh	E. Generada S EO-FV kWh	E. CFE
ENERO	206	347	-141
FEBRERO	146	398	-252
MARZO	176	444	-268
ABRIL	180	561	-381
MAYO	198	441	-243
JUNIO	296	414	-118
JULIO	745	457	288
AGOSTO	975	454	521
SEPTIEMBRE	767	401	366
OCTUBRE	541	432	109
NOVIEMBRE	210	403	-193
DICIEMBRE	153	352	-199
TOTAL	4593	5104	-511

A su vez, tendremos 511 kW como excedentes producidos por el sistema los cuales no serán utilizados por la vivienda (Tabla 12). Finalmente, el consumo energético será abastecido por completo con el S EO-FV interconectado a la red (Fig. 34).

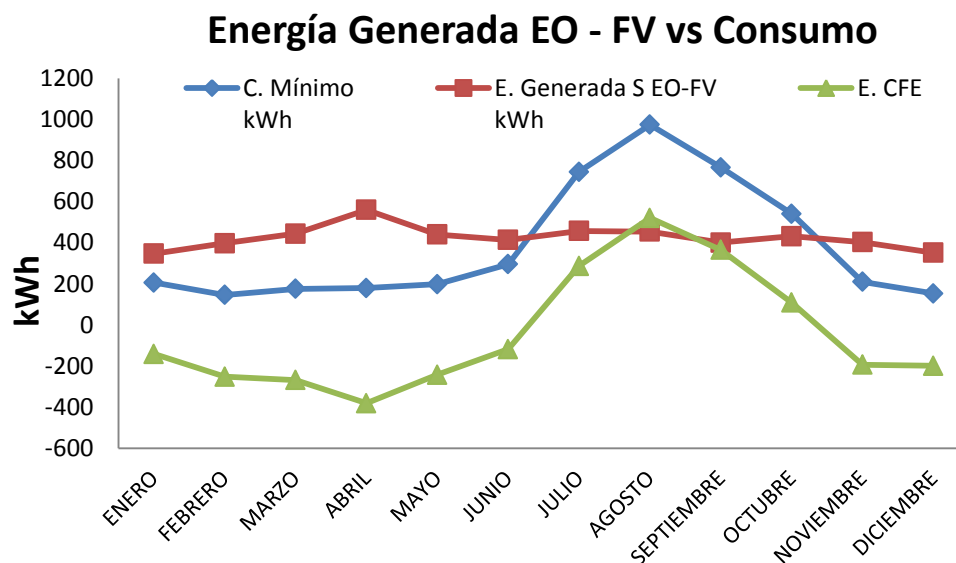


Fig. 34 Energía generada para cubrir demanda energética Mínima

8.2 EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO: C. PROMEDIO

A su vez, se evaluará la vivienda que presentó un consumo cercano al promedio registrando 7,958 kWh durante el 2010.

Se determinó que el Sistema Eólico-Fotovoltaico a instalarse debe contar con 16 paneles solares de 230 W cada uno, mientras que para la parte eólica, se seguirá utilizando 1 aerogenerador de 1 kW (Tabla 13) ya que Mexicali es una ciudad que no cuenta con vientos frecuentes por lo que no es rentable aumentar la parte eólica para abastecer el consumo energético de la vivienda en comparación con los paneles fotovoltaicos.

Tabla 13 Equipos a utilizarse en la vivienda con Consumo Promedio

CONCEPTOS	CANT.
Panel Solar ET230PC 230 W.	16
Eólico - Hummer 1,000 W.	1
Inversor 2 kW	3

En la figura 36 y 37 se observa el comportamiento de la energía generada por parte del sistema fotovoltaico y del sistema eólico (Ver apéndice);

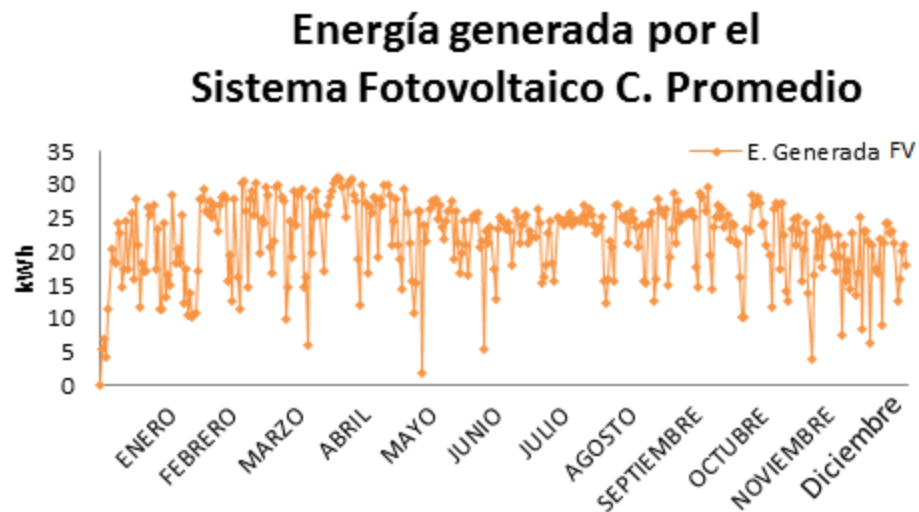


Fig. 35 C. Promedio: Energía generada Sistema FV

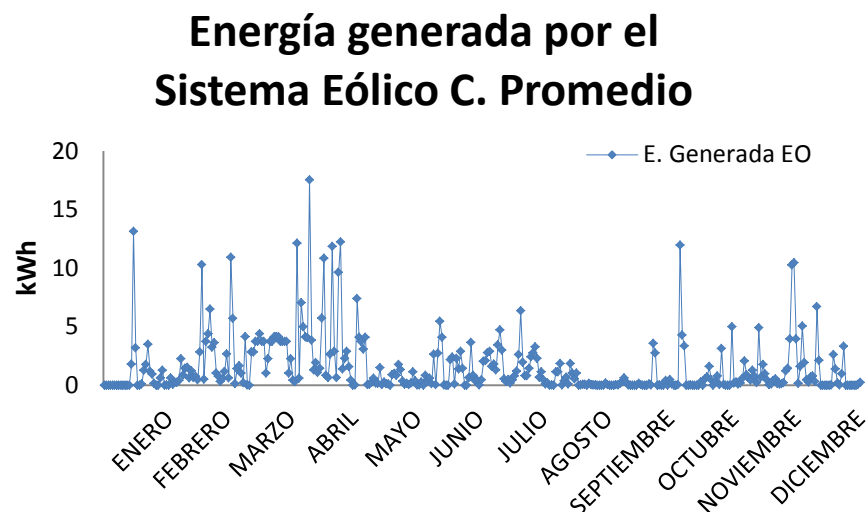


Fig. 36 C. Promedio: Energía generada Sistema Eólico

Por lo tanto, el S EO-FV abastecerá el consumo energético de la vivienda durante los meses de noviembre hasta junio (Fig. 38 y Tabla 14). A su vez, tendrá excedentes de energía que se subirán a la red para ser utilizados cuando la producción de energía no sea suficiente para abastecer el consumo;

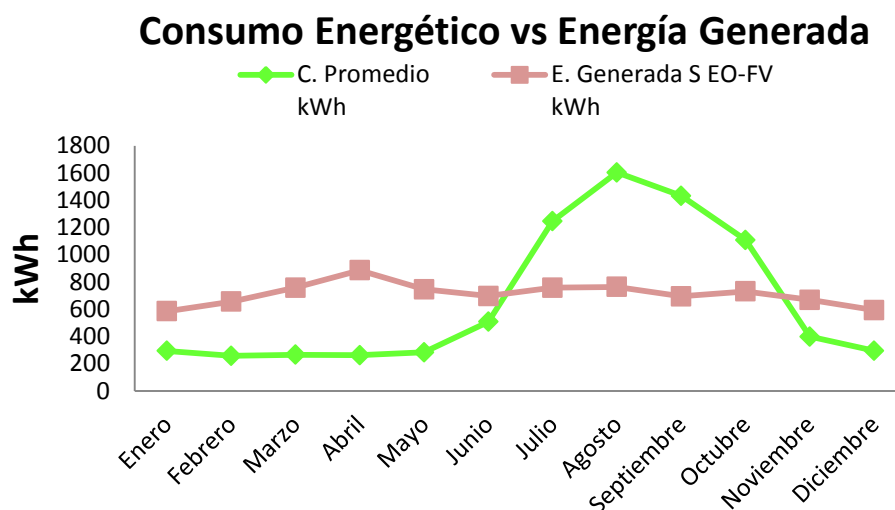


Fig. 37 Comparativo del Consumo Promedio de energía vs la energía generada

Tabla 14 Energía generada para cubrir consumo energético Promedio

Mes	C. Promedio kWh	E. Generada S EO-FV kWh	E. CFE
ENERO	294	586	-291
FEBRERO	258	656	-398
MARZO	266	758	-492
ABRIL	263	886	-623
MAYO	284	746	-462
JUNIO	508	698	-190
JULIO	1247	758	489
AGOSTO	1604	764	839
SEPTIEMBRE	1432	695	737
OCTUBRE	1108	731	377
NOVIEMBRE	399	669	-270
DICIEMBRE	296	594	-298
TOTAL	7958	8541	-582

Para el caso de la vivienda que presentó el consumo cercano al promedio, el sistema aportara a la red de la CFE 582 kWh anuales, dicha energía no será consumida por la vivienda ya que la energía generada es suficiente para abastecer la demanda (Fig. 38).

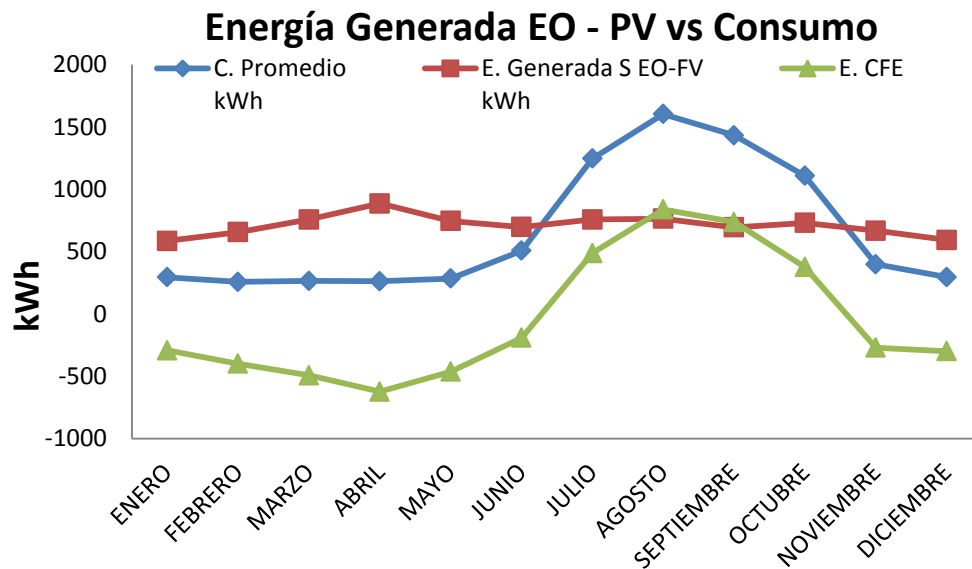


Fig. 38 Energía generada para cubrir demanda energética Promedio

8.3 PROPUESTAS

En base a los resultados obtenidos de la simulación instalando equipos en cada una de las viviendas, se propone instalar una planta híbrida eólica - fotovoltaica con la finalidad de abastecer el consumo energético total que demandan las viviendas dentro del fraccionamiento San Sebastián.

De acuerdo a lo anterior, se sumaron los consumos energéticos de las 100 viviendas dentro del Fraccionamiento teniendo un consumo de 459,300 kWh durante el 2010 (Tabla 15 y Fig. 39).

Tabla 15 Consumo Energético típico anual del Fraccionamiento

	Fraccionamiento kWh
Enero	20,600
Febrero	14,600
Marzo	17,600
Abril	18,000
Mayo	19,800
Junio	29,600
Julio	74,500
Agosto	97,500
Septiembre	76,700
Octubre	54,100
Noviembre	21,000
Diciembre	15,300
Total	459,300

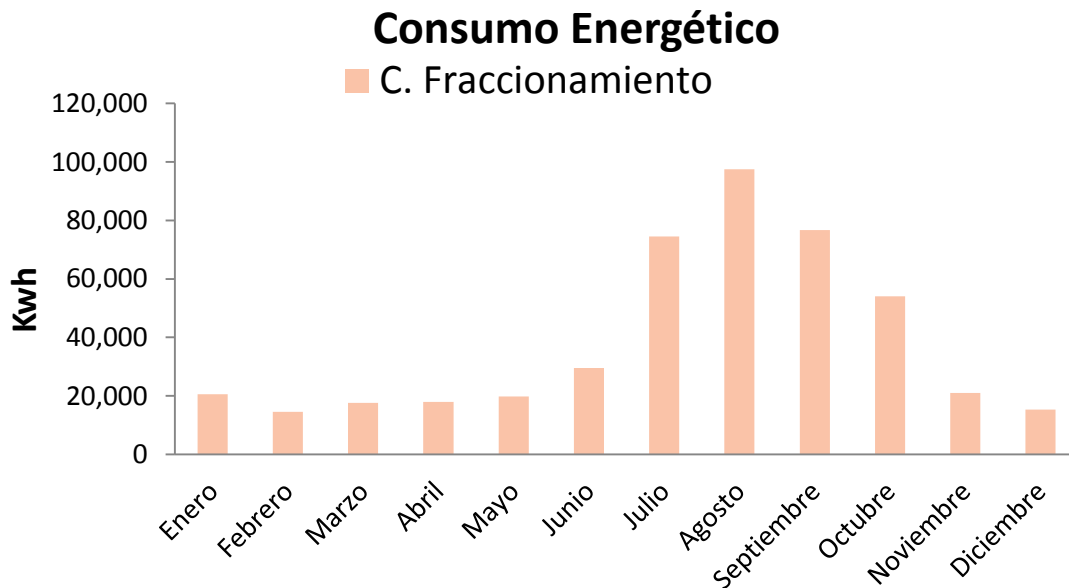


Fig. 39 Consumo energético anual del Fraccionamiento

Por consiguiente, el consumo energético total registrado por las viviendas durante el 2010 en la Tabla 16 se propone instalar 900 fotovoltaicos modelo STP290 – 24/Vd con una potencia máxima de 290 W que a su vez estarán interconectados con 31 aerogeneradores modelo H3.8-2kW con una potencia nominal de 2 kW cada uno.

Tabla 16 Equipos a utilizarse para abastecer el consumo anual de las casas en el Fraccionamiento

CONCEPTOS	CANT.
Fotovoltaico - Suntech 290 W.	900
Eólico - Hummer 2,000 W.	31
Inversor 6 kW	58
Inversor 2 kW	6
Inversor 230 W	1

Cabe señalar, que el área de cada panel es de 1.94 m² por lo que sería necesario un terreno de más de 1,746 m² para instalar la parte fotovoltaica ya que es necesario considerar la distancia entre cada uno de ellos para evitar generar sombras y por la parte del eólico, es necesario considerar que la distancia mínima entre álabes de un aerogenerador a otro debe ser la mitad del diámetro de barrido, 1.9 m.

Por consiguiente, se utilizó el software TRNSYS 16 para llevar acabo la simulación y observar la energía generada por la parte fotovoltaica como por la parte eólica (Fig. 40 y 41).

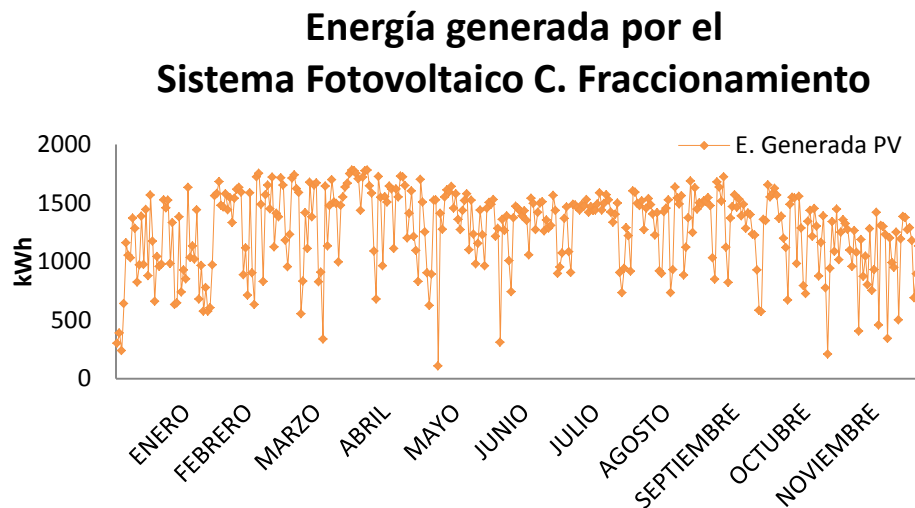


Fig. 40 C. Fraccionamiento: Energía generada Sistema FV

Energía generada por el Sistema Eólico C. Fraccionamiento

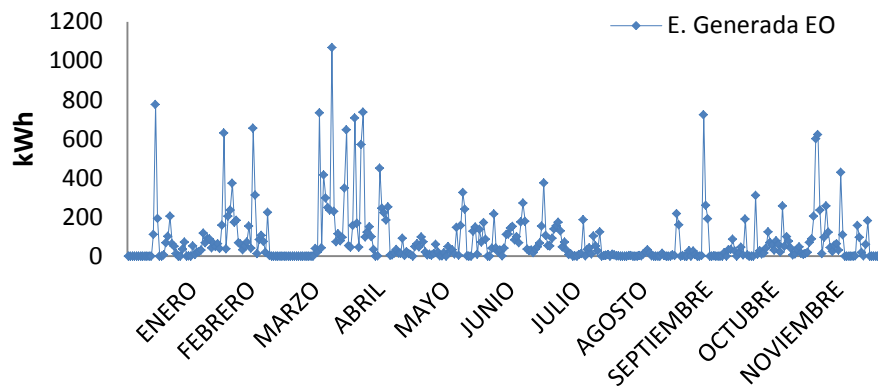


Fig. 41 C. Fraccionamiento: Energía generada Sistema Eólico

En base a los resultados obtenidos, se consideró que la parte solar cubre un 96% del consumo energético total anual que presentan los hogares del fraccionamiento.

Sin embargo, el sistema genera excedentes de energía durante los meses de noviembre a junio, los cuales serán utilizados para cubrir la demanda eléctrica de julio a octubre. (Fig. 42 y Tabla 17).

Consumo Energético vs Energía Generada

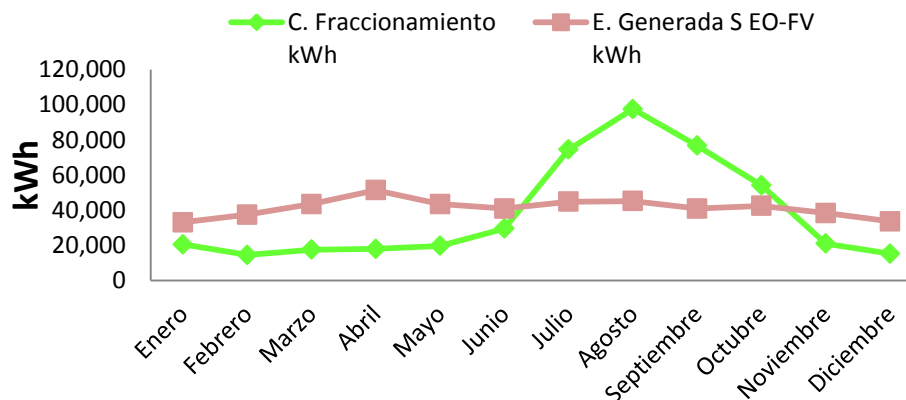


Fig. 42 Comparativo del Consumo energético del Fraccionamiento vs la energía generada

Tabla 17 Energía generada para cubrir el consumo energético del Fraccionamiento

Mes	C. Fraccionamiento kWh	E. Generada S EO-FV kWh	E. CFE
ENERO	20,600	33,150	-12,550
FEBRERO	14,600	37,486	-22,886
MARZO	17,600	43,467	-25,867
ABRIL	18,000	51,428	-33,428
MAYO	19,800	43,517	-23,717
JUNIO	29,600	40,945	-11,345
JULIO	74,500	44,868	29,632
AGOSTO	97,500	45,263	52,237
SEPTIEMBRE	76,700	40,919	35,781
OCTUBRE	54,100	42,477	11,623
NOVIEMBRE	21,000	38,453	-17,453
DICIEMBRE	15,300	33,694	-18,394
TOTAL	459,300	495,668	-36,368

En la figura 43 se muestra que de acuerdo a los equipos instalados son los necesarios para abastecer el consumo total de energía del fraccionamiento San Sebastián;

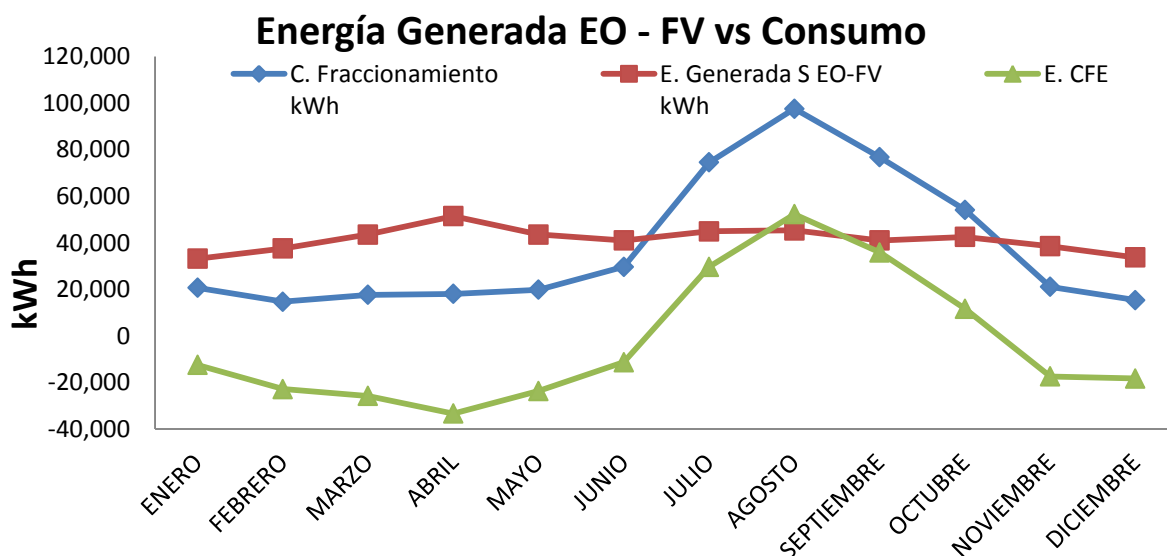


Fig. 43 Energía generada para cubrir demanda energética del Fraccionamiento

8.4 COSTO DE PRODUCCIÓN

La reducción en los costos de las tecnologías que aprovechan las fuentes renovables han propiciado altas tasas de crecimiento en la industria manufacturera, en particular la tecnología solar fotovoltaica y la tecnología eólica.

Por lo que, se prevé que los costos de generación de las tecnologías de energías renovables por unidad de producción continuarán cayendo durante el período de 2021-2035 [8]. La razón principal es el aumento de la participación de las energías renovables en la matriz energética mundial, lo que acelerará el progreso tecnológico y el incremento de las economías de escala en la fabricación de los equipos asociados.

La tabla 20 y Figura 44 muestra el costo de la energía Eólica Terrestre durante el 2010-2020, la cual es de un promedio de \$85 US\$ por MWh instalado; lo que representa 0.1 US\$ por KWh instalado.

A su vez, para el periodo 2021-2035 disminuirá a \$65 US\$ por MWh instalado. Lo que representa que el costo de la energía Solar FV-edificios para el 2010-2020 tendrá un costo de \$406 US\$ por MWh instalado igual a 0.4 US\$ por kWh, mientras que, para el periodo 2021-2035 tendrá una baja a \$217 US\$ por MWh lo que representa más del 50% comparado con el periodo 2010-2020 [8].

Tabla 18 Costo de generación de electricidad basada en energías renovables por tecnología e índices de aprendizaje en el escenario de nuevas políticas

	Costos de generación						Índice de aprendizaje (%)
	2010-2020 (US\$2009 por MWh)			2021-2035 (US\$2009 por MWh)			
	Min	Max	Prom.	Min	Max	Prom.	
Grandes hidro	51	137	94	52	136	95	1%
Pequeñas hidro	71	247	143	70	245	143	1%
Biomasa	119	148	131	112	142	126	5%
Eólica terrestre	63	126	85	57	88	65	7%
Eólica maina	78	141	101	59	94	74	9%
Geotermia	31	83	52	31	85	46	5%
Solar FV-gran escala	195	527	280	99	271	157	17%
Solar FV-edificios	273	681	406	132	356	217	17%
Plantas concentración solar	153	320	207	107	225	156	10%
Marina	235	325	281	139	254	187	14%

Fuente: World Energy Outlook 2010, IEA, 2010 [8]

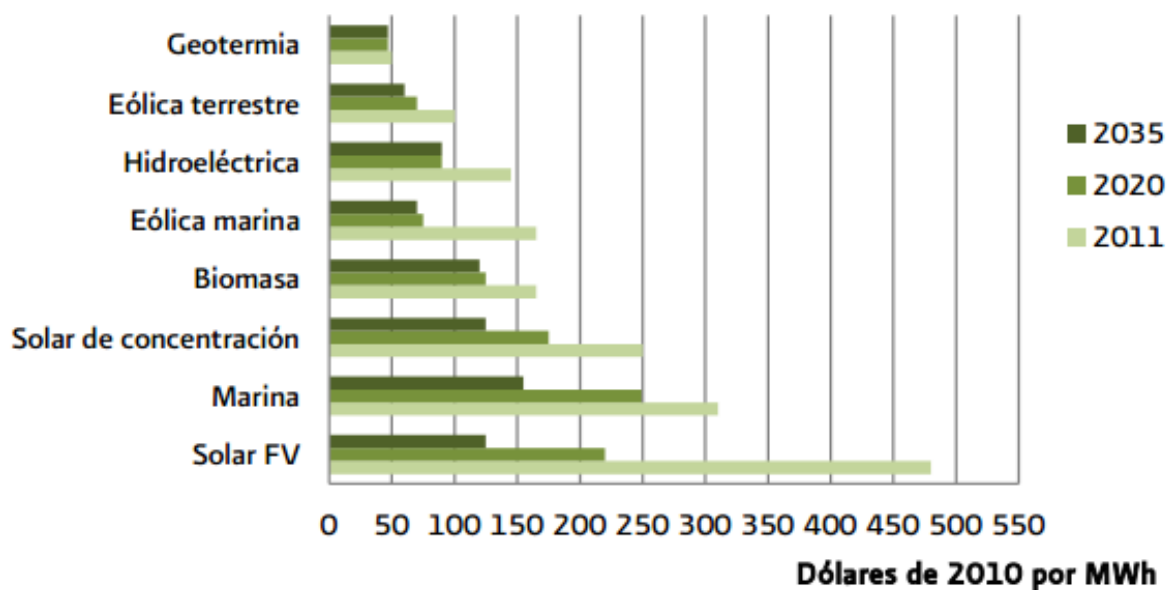


Fig. 44 Costo de generación de electricidad de las tecnologías con energía renovable a gran escala en el escenario de nuevas políticas

Fuente: World Energy Outlook 2010, IEA, 2010 [8]

CAPÍTULO 9. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se utilizó la herramienta de TRNSYS para hacer el comparativo entre la energía generada por medio del sistema híbrido eólico-solar interconectado a la red y la energía consumida, en el caso de la vivienda con consumo Mínimo y Promedio, durante el año 2010.

Al igual se obtuvieron los excesos de energía generada para aprovechar la reglamentación por CFE la cual permite la interconexión a la red por medio de un medidor bidireccional donde la energía generada será contabilizada y usada en un futuro cuando se tenga déficit de energía.

El propósito de este análisis también cubre la evaluación económica del S EO-FV, el cual consiste en calcular el retorno de inversión. Como resultado se determinará el costo de inversión inicial, retorno de inversión, producción de energía y comportamiento dinámico del sistema.

Se consideró una tarifa doméstica del tipo 1F, durante el año evaluado, y se utilizó el método del valor presente neto para evaluar el tiempo de retorno de inversión.

Como el sistema híbrido estará interconectado a la red, la compañía suministradora CFE facturará el recibo de cobro, donde para los meses que se tenga un excedente de energía consumida serán los kWh a pagarse, con estos, se generara un cobro anual.

En cuanto a la demanda del consumo energético total anual se obtuvo mediante la encuesta a las viviendas de clase media-alta para obtener los electrodomésticos que se tienen instalados y las horas que se usan. Esto, con el fin de calcular la demanda diaria así como el consumo mensual, la cual puede ser calculada mediante,

$$DM * DD = CEM \quad (9)$$

Donde DM representa los días que tiene el mes a evaluar, por ejemplo para enero se utilizó 31 días y para febrero 28 días, multiplicándolo por la demanda diaria (DD) de consumo energético nos proporcionara el consumo eléctrico mensual, CEM, aproximadamente. Este consumo es el que facturará CFE en cada mes del año.

A lo largo del año, Mexicali tiene una radiación promedio de 210 W/m² horaria, donde se determinó 6 horas de insolación en promedio durante el año.

Para el C. Mínimo y la instalación de equipos de acuerdo al capítulo 7 se estima se puede obtener una producción, por parte del arreglo fotovoltaico, de 4 582 kW anuales. Mientras que el recurso eólico logra proporcionar un 12% de la demanda anual total. Por el otro lado, para el C. Promedio el sistema FV cubrirá el 94% del consumo energético anual total.

Con esta estimación se obtiene el porcentaje de abastecimiento de energía eléctrica de acuerdo al consumo energético en una casa de clase media –alta.

$$PF_{prom} * IDA_{prom} = PDF_{prom} \quad (10)$$

Donde, PF_{prom} es la producción fotovoltaica promedio de un panel solar e IDA_{prom} representa la insolación diaria anual promedio lo que tendríamos 210 W/m², estos datos se obtienen de acuerdo al archivo típico meteorológico. Por lo que se puede determinar la producción diaria fotovoltaica promedio.

Por lo anterior, se puede observar que el sistema instalado en ambos casos cubrirá la mayor parte el arreglo FV ya que los vientos en el área de Mexicali no son tan frecuentes como para poder incrementar el porcentaje de energía producida.

Para determinar el análisis de retorno de inversión es la diferencia entre el pago del consumo que se tendría sin un sistema de baja potencia instalado y el pago del

consumo con un S EO-FV de acuerdo a los cobros mensualmente los cuales estarán determinados en base a los precios establecidos por CFE en 2013 para la tarifa de 1F.

En ambos casos se observa como los meses de noviembre hasta junio tendremos una producción de energía excedente comparada con el consumo mensual mientras que en los meses de verano, donde tenemos un mayor consumo energético, no es posible abastecer, en su totalidad, el consumo mensual que presentan los hogares.

9.1 CALCULO DE RETORNO DE INVERSIÓN

Considerando el precio de cada equipo; aerogenerador, paneles fotovoltaicos e inversores, así como el cableado, medidor bidireccional, mano de obra e imprevistos los cuales el porcentaje destinado a dichos varía entre el 5 % y 8 %.

En este caso se utilizó el método del valor presente neto, el cual permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero, en base al valor futuro que tendrá el capital, trayéndolo al presente. El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. Permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero, que es, maximizar la inversión.

La ventaja de dicho método es que el valor presente neto tiene como virtud determinar cuánto van a valer los flujos de entrada y salida traídos al día de hoy para comprobarlos entre sí y ver si se obtiene un rendimiento y de cuanto sería. Por igual, admite introducir, en los cálculos, flujos de signo positivos y negativos (entradas y salidas) en los diferentes momentos del horizonte temporal de la inversión.

La principal ventaja de este método es que al homogeneizar los flujos netos de caja a un mismo momento de tiempo ($t=0$), reduce a una unidad de medida común cantidades de dinero generadas (o aportadas) en momentos de tiempo diferentes.

Dicho método depende de la inversión inicial, las inversiones durante la operación, los flujos netos de efectivo, la tasa de descuento y el número de periodos que dure el proyecto. Por lo que se necesita la inflación anual nacional, así como la inflación que presenta el producto, en nuestro caso los kWh.

El valor presente neto (VPN), se calcula mediante

$$VPN = -CF_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (11)$$

dónde:

$CF_0 =$ Inversión inicial

$CF_t =$ Flujo de caja

$i =$ tasa

$t =$ Periodo

$n =$ Periodos efectivos

El incremento anual en el costo del kWh se mantendrá constante durante el periodo a evaluarse [12].

Tabla 19 Constantes para obtener el retorno de inversión

Incremento anual costo kWh	Inflación Anual
5 %	3.7 %

Mediante el método del valor presente neto se tomaran las consideraciones antes mostradas donde se determina el costo total y los factores como la mano de obra, instalación e imprevistos estimados.

9.1.1 RETORNO DE INVERSIÓN C. MÍNIMO

Para el cálculo de retorno de inversión, bajo el esquema del valor presente neto, se determina el costo total de \$108,145 pesos M.N. tomando en cuenta que los imprevistos y el cobro de mano de obra son precios estimados. La Tabla 20 muestra un simplificado del cálculo del costo por equipo a instalarse;

Tabla 20 C. Mínimo: Costo Total de Sistema Híbrido

CONCEPTOS	CANT.	Precio Unitario dls	Precio Unitario M.N.	Total dls	Total M.N.
Panel Solar ET230PC 230 W.	10	\$346	\$4,154	\$3,461	\$41,536
Eólico - Hummer 1,000 W.	1	\$1,759	\$21,111	\$1,759	\$21,111
Inversor 2 kW	2	\$1,800	\$21,597	\$3,599	\$43,193
Inversor 230 W	2	\$159	\$1,910	\$318.36	\$3,820.32
				\$9,138	\$109,660
Cobro Mano de Obra				\$731	\$8,772.79
Imprevistos				\$457	\$5,482.99
				\$1,188	\$14,256
INVERSION TOTAL				\$10,326	\$123,916

De acuerdo al comparativo del consumo de energía menos la energía generada por el S EO-FV:

Tabla 21 C. Mínimo: Energía Generada por Sistema vs Consumo Energético

Mes	C. Mínimo kWh	E. Generada S EO-FV kWh	E. CFE
ENERO	206	347	-141
FEBRERO	146	398	-252
MARZO	176	444	-268
ABRIL	180	561	-381
MAYO	198	441	-243
JUNIO	296	414	-118
JULIO	745	457	288
AGOSTO	975	454	521
SEPTIEMBRE	767	401	366
OCTUBRE	541	432	109
NOVIEMBRE	210	403	-193
DICIEMBRE	153	352	-199
TOTAL	4593	5104	-511

Con lo anterior se puede observar que el sistema no tendrá cobros por parte de CFE, sin embargo para el análisis de retorno de inversión se debe considerar calcular el cobro mensualmente sin un S. EO-FV según los precios de CFE del 2013 para una tarifa 1F, obteniendo en Moneda Nacional (M.N.) un ahorro anual de \$3,018.55 M.N.

Tabla 22 C. Mínimo: Ahorro anual Tarifa 1F con S. EO-FV

Mes	Consumo	E. Generada	E. CFE	Total a pagar Tarifa 1F	Total a pagar con S. EO-FV	Ahorro
Enero	206	347	-141	\$175	\$0.00	\$175
Febrero	146	398	-252	\$114	\$0.00	\$114
Marzo	176	444	-268	\$140	\$0.00	\$140
Abril	180	561	-381	\$144	\$0.00	\$144
Mayo	198	441	-243	\$103	\$0.00	\$103
Junio	296	414	-118	\$154	\$0.00	\$154
Julio	745	457	288	\$457	\$0.00	\$457
Agosto	975	454	521	\$614	\$0.00	\$614
Septiembre	767	401	366	\$475	\$0.00	\$475
Octubre	541	432	109	\$323	\$0.00	\$323
Noviembre	210	403	-193	\$191	\$0.00	\$191
Diciembre	153	352	-199	\$124	\$0.00	\$124
				\$3,018	\$0.00	\$3,018

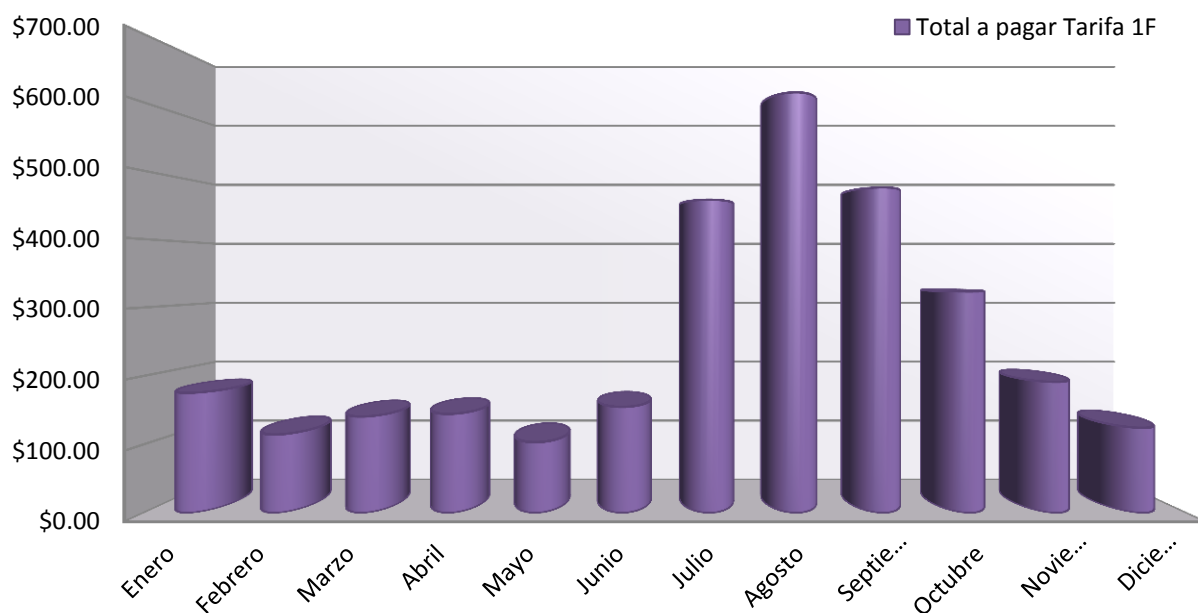


Fig. 45 C. Mínimo: Total a pagar sin el Sistema Híbrido

Para el caso de la vivienda con un consumo mínimo observamos que en los meses de verano de julio a octubre se tiene un alto pago a CFE, donde se ve reflejado que el mes de agosto predomina el mayor consumo de energía eléctrica debido al uso del aire acondicionado en los hogares (Fig. 45).

Un proyecto es aceptado siempre y cuando su retorno de inversión a mediano plazo sea de 7 años y en casos especiales hasta 12 años [12].

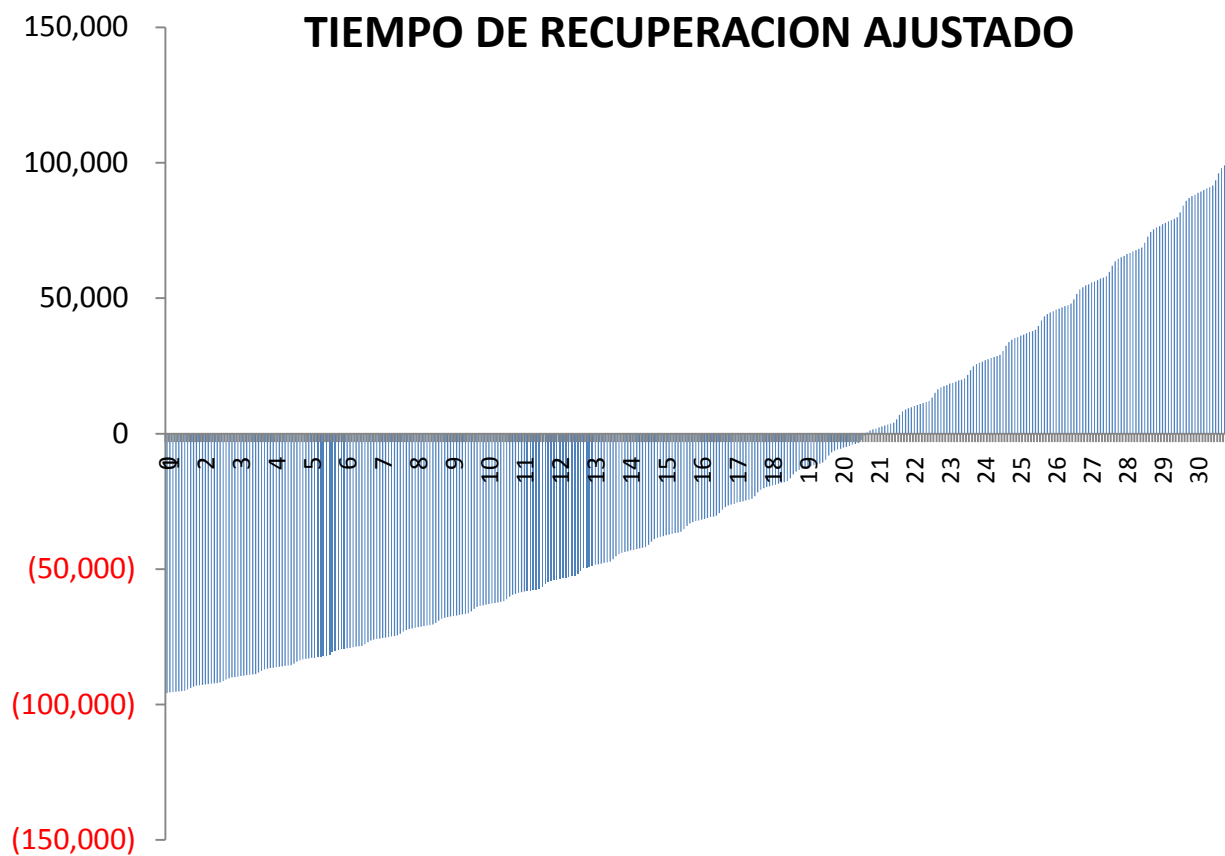


Fig. 46 C. Mínimo: Retorno de inversión

Para el retorno de inversión del S. EO-FV a instalarse en la vivienda de consumo Mínimo se observa que de acuerdo al Valor presente neto con un incremento del 5% anual del costo del kWh, después de 20 años estaríamos esperando fuera el periodo aproximado para recuperar lo invertido por lo que no es un proyecto rentable (Fig. 46).

9.1.2 RETORNO DE INVERSIÓN C. PROMEDIO

En el caso de la vivienda con un consumo promedio se determinó la fecha para retorno de inversión, bajo el esquema del valor presente neto, se determina que tendrá un costo total de \$173,610 pesos M.N. tomando en cuenta que los imprevistos y el cobro de mano de obra son precios estimados. La Tabla 23 muestra un simplificado del cálculo del costo por equipo a instalarse;

Tabla 23 C. Promedio: Costo Total de Sistema Híbrido

CONCEPTOS	CANT.	Precio Unitario dls	Precio Unitario M.N.	Total dls	Total M.N.
Panel Solar ET230PC 230 W.	16	\$346	\$4,154	\$5,538	\$66,457
Eólico - Hummer 1,000 W.	1	\$3,665	\$43,980	\$3,665	\$43,980
Inversor 2 kW	3	\$1,800.00	\$21,600	\$5,400	\$64,800
				\$14,603	\$175,237
Cobro Mano de Obra				\$1,024.25	\$12,291
Imprevistos				\$640.15	\$7,682
				\$1,898	\$22,781
INVERSION TOTAL				\$16,501	\$198,018

Obteniendo por igual el comparativo del consumo contra la energía generada por el sistema EO-FV;

Tabla 24 C. Promedio: Energía Generada por Sistema Híbrido vs Consumo Energético

Mes	C. Promedio kWh	E. Generada S EO-FV kWh	E. CFE
ENERO	294	586	-291
FEBRERO	258	656	-398
MARZO	266	758	-492
ABRIL	263	886	-623
MAYO	284	746	-462
JUNIO	508	698	-190
JULIO	1247	758	489
AGOSTO	1604	764	839
SEPTIEMBRE	1432	695	737
OCTUBRE	1108	731	377
NOVIEMBRE	399	669	-270
DICIEMBRE	296	594	-298
TOTAL	7958	8541	-582

Se observa que el sistema no tendrá cobros por parte de CFE, sin embargo considerando los cobros a pagarse mensualmente sin un S EO-FV, obteniendo en Moneda Nacional (M.N.) un ahorro anual de \$7,766.58 M.N.

Tabla 25 C. Promedio: Ahorro anual Tarifa 1F con S. EO-FV

Mes	Consumo	E. Generada	E. CFE	Total a pagar Tarifa 1F	Total a pagar con S. EO-FV	Ahorro
Enero	294	586	-291	\$437	\$0	\$437
Febrero	258	656	-398	\$348	\$0	\$348
Marzo	266	758	-492	\$368	\$0	\$368
Abril	263	886	-623	\$362	\$0	\$362
Mayo	284	746	-462	\$148	\$0	\$148
Junio	508	698	-190	\$297	\$0	\$29
Julio	1247	758	489	\$1,011	\$0	\$1,01
Agosto	1604	764	839	\$1,590	\$0	\$1,590
Septiembre	1432	695	737	\$1,318	\$0	\$1,318
Octubre	1108	731	377	\$709	\$0	\$709
Noviembre	399	669	-270	\$721	\$0	\$721
Diciembre	296	594	-298	\$457	\$0	\$457
				\$7,767	\$0	\$7,767

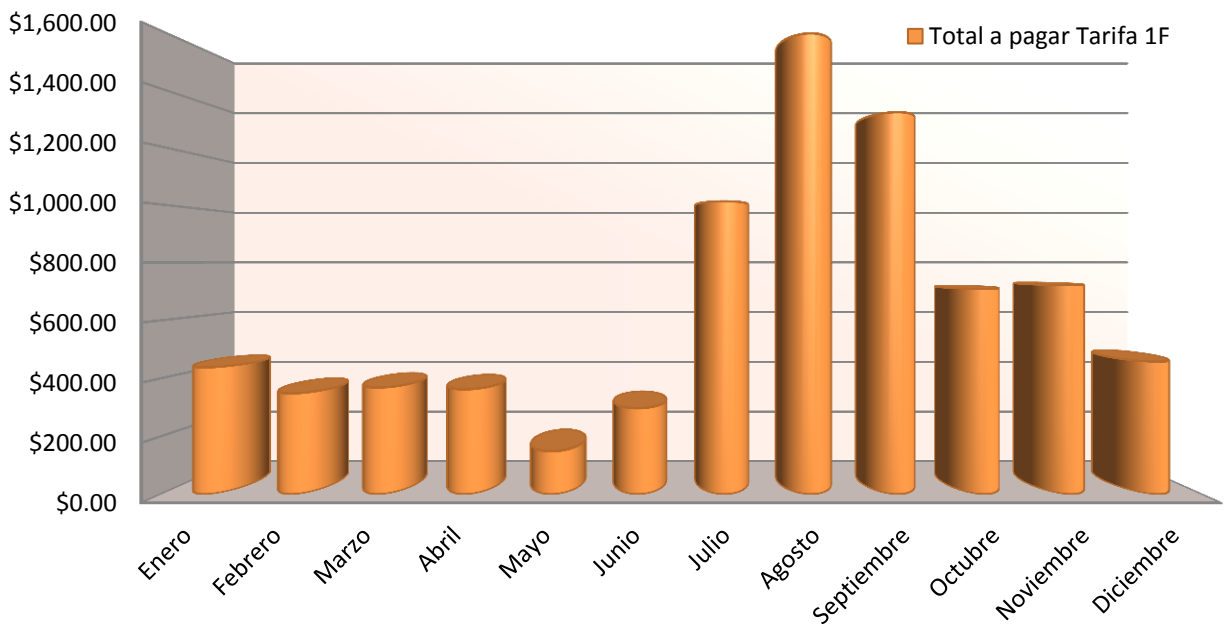


Fig. 47 C. Promedio: Total a pagar sin el Sistema Híbrido

Igual que para el caso de la vivienda con un consumo mínimo observamos que en los meses de verano de julio a octubre se tiene un alto pago a CFE (Fig. 47).

En este caso, para el retorno de inversión del S. EO-FV a instalarse en la vivienda con un consumo Promedio se observa que de acuerdo al Valor presente neto con un incremento del 5% anual del costo del kWh tiene un menor tiempo de recuperación, después de 17 años estaríamos esperando fuera el periodo para recuperar lo invertido (Fig. 48).

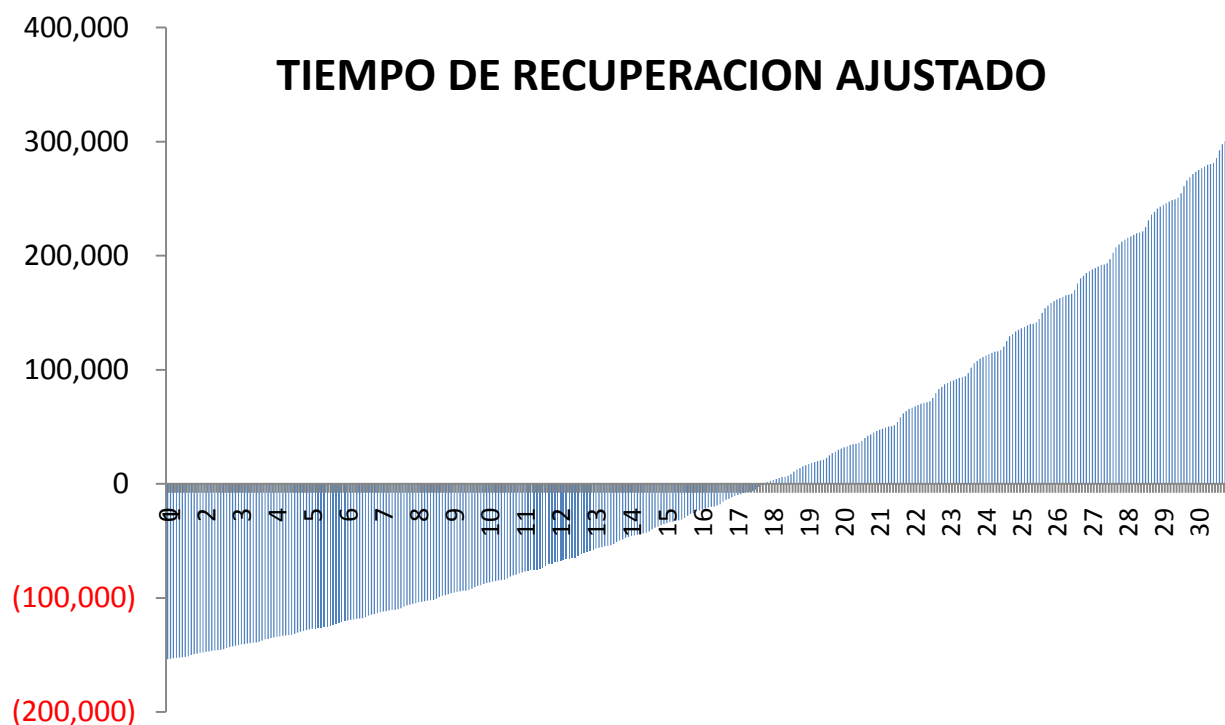


Fig. 48 C. Promedio: Retorno de inversión

9.1.3 RETORNO DE INVERSIÓN C. FRACCIONAMIENTO

Para el cálculo de retorno de inversión, bajo el esquema del valor presente neto, se determina el costo total para la instalación del S EO-FV de \$14,630,651 pesos M.N. tomando en cuenta que los imprevistos y el cobro de mano de obra son precios estimados.

La Tabla 26 muestra un simplificado del cálculo del costo por equipo a instalarse;

Tabla 26 C. Fraccionamiento: Costo Total de Sistema Híbrido

CONCEPTOS	CANT.	Precio Unitario dls	Precio Unitario M.N.	Total dls	Total M.N.
Fotovoltaico - Suntech 290 W.	900	\$714	\$8,574	\$643,014	\$7,716,168
Eólico - Hummer 2,000 W.	31	\$9,509	\$114,104	\$294,769	\$3,537,227
Inversor 6 kW	58	\$2,562	\$30,741	\$148,583	\$1,783,001
Inversor 2 kW	6	\$1,800	\$21,597	\$10,798	\$129,580
Inversor 2 kW	1	\$159	\$1,910	\$159.18	\$1,910.16
				\$1,097,165	\$13,167,886
Cobro Mano de Obra				\$86,317	\$1,035,798
Imprevistos				\$53,948	\$647,374
				\$142,631	\$1,711,577
INVERSION TOTAL				1,239,796	14,879,463

Por lo que tenemos el comparativo del consumo de energía menos la energía generada por el S EO-FV:

Tabla 27 C. Fraccionamiento: Energía Generada por Sistema Híbrido vs Consumo Energético

Mes	C. Fraccionamiento kWh	E. Generada S EO-FV kWh	E. CFE
ENERO	20,600	33,150	-12,550
FEBRERO	14,600	37,486	-22,886
MARZO	17,600	43,467	-25,867
ABRIL	18,000	51,428	-33,428
MAYO	19,800	43,517	-23,717
JUNIO	29,600	40,945	-11,345
JULIO	74,500	44,868	29,632
AGOSTO	97,500	45,263	52,237
SEPTIEMBRE	76,700	40,919	35,781
OCTUBRE	54,100	42,477	11,623
NOVIEMBRE	21,000	38,453	-17,453
DICIEMBRE	15,300	33,694	-18,394
TOTAL	459,300	495,668	-36,368

De acuerdo al consumo total del fraccionamiento el análisis de retorno de inversión también se consideró calculando los cobros que se tendría mensualmente sin un S. EO-FV basándonos en los precios de CFE del 2013 para una tarifa 1F, obteniendo en Moneda Nacional (M.N.) un ahorro anual de \$874,775.97 M.N.

Tabla 28 C. Fraccionamiento: Ahorro anual Tarifa 1F con S. EO-FV

Mes	Consumo	E. Generada	E. CFE	Total a pagar Tarifa 1F	Total a pagar con S. EO-FV	Ahorro
Enero	20,600	33,150	-12,550	\$51,303	\$0	\$51,303
Febrero	14,600	37,486	-22,886	\$36,389	\$0	\$36,389
Marzo	17,600	43,467	-25,867	\$44,068	\$0	\$44,068
Abril	18,000	51,428	-33,428	\$45,220	\$0	\$45,220
Mayo	19,800	43,517	-23,717	\$46,899	\$0	\$46,899
Junio	29,600	40,945	-11,345	\$71,988	\$0	\$71,988
Julio	74,500	44,868	29,632	\$118,948	\$0	\$118,948
Agosto	97,500	45,263	52,237	\$156,463	\$0	\$156,463
Septiembre	76,700	40,919	35,781	\$123,252	\$0	\$123,252
Octubre	54,100	42,477	11,623	\$86,908	\$0	\$86,908
Noviembre	21,000	38,453	-17,453	\$53,976	\$0	\$53,976
Diciembre	15,300	33,694	-18,394	\$39,363	\$0	\$39,363
				\$874,776	\$0	\$874,776

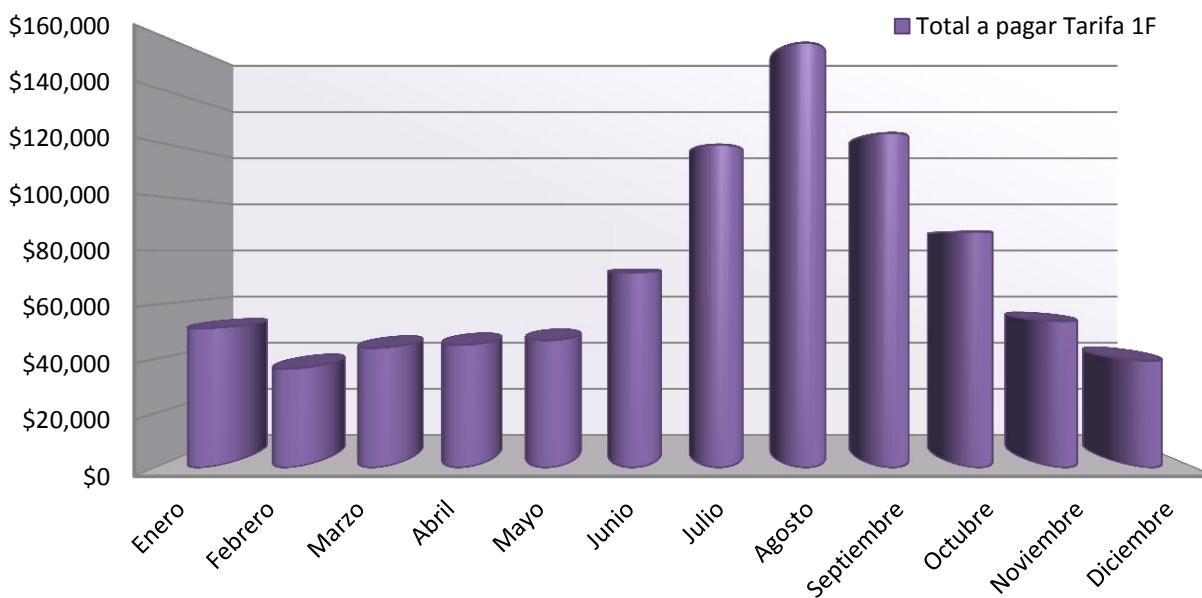


Fig. 49 C. Fraccionamiento: Total a pagar sin el Sistema Híbrido

Para el caso de abastecer el consumo energético de un fraccionamiento con 100 hogares, los cuales presentan un consumo bajo debido a que usan equipos eficientes y presentan un correcto acondicionamiento de vivienda, se puede observar que en los meses de verano de julio a octubre se tiene un alto pago a CFE. Por lo que, para el mes de agosto predomina el mayor consumo de energía eléctrica debido al uso del aire acondicionado en los hogares (Fig. 50).

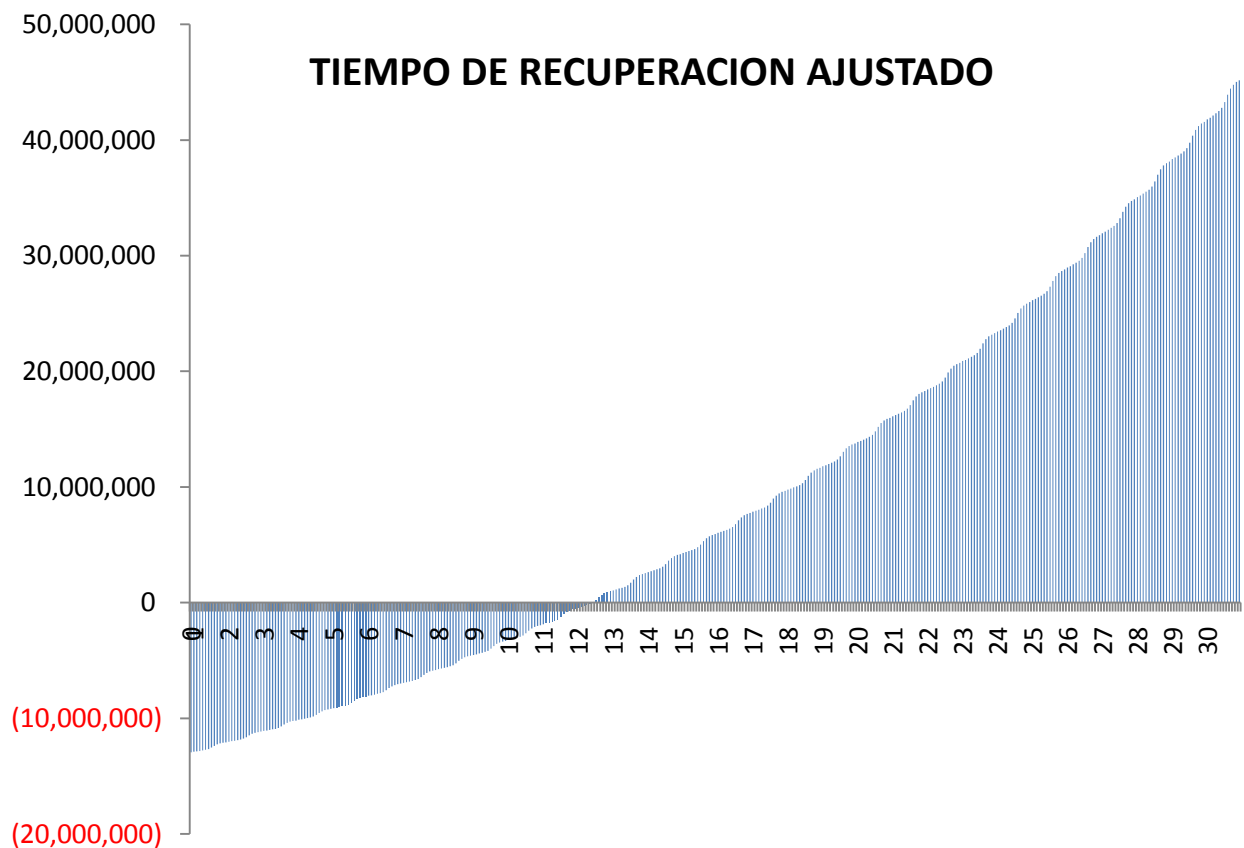


Fig. 50 C. Fraccionamiento: Retorno de inversión

De acuerdo al Valor presente neto con un incremento del 5% anual del costo del kWh se observa que a partir del 12vo. año se tiene el retorno de la inversión para la planta híbrida que abastecerá de energía eléctrica a un fraccionamiento que cuenta con 100 hogares.

CAPÍTULO 10. CONCLUSIÓN

Mexicali, Baja California cuenta con un alto potencial de energía solar pero poco recurso eólico, del cual, el sol puede ser aprovechado al máximo desde Abril hasta Noviembre mientras que los días ventosos de primavera pueden contribuir un 40% de los requerimientos energéticos a nivel residencial.

También se observa que la velocidad del viento tiene un comportamiento poco constante comparado con la radiación solar. Dichas variaciones afectaron en la simulación para la producción de energía eléctrica de nuestro sistema híbrido de baja potencia.

En base a los equipos a instalarse y el ahorro anual que se tendría al instalar este tipo de sistema, pudimos determinar el costo de inversión inicial, retorno de inversión, producción de energía y comportamiento dinámico de los sistemas. En los diferentes casos, resulto tener un alto consumo en los meses de verano por utilizar, la mayor parte del día, el aire acondicionado.

El equipo evaluado, necesita una inversión inicial muy alta debido al tipo de equipos que se instalaran, tomando en cuenta que un proyecto de esta magnitud es aceptado siempre y cuando su retorno de inversión a mediano plazo sea de 7 años y en casos especiales hasta 12 años [12].

Por lo tanto, para el primer caso se estima que el tiempo de recuperación sea de 20 años, lo cual no es un proyecto rentable. Sin embargo, se ve una reducción significativa mientras más equipos sean mayor será el ahorro. Para el caso de la vivienda promedio y para una instalación abasteciendo el fraccionamiento el tiempo de recuperación seria de 17 y 12 años respectivamente, este último representaría un proyecto rentable.

RECOMENDACIONES

Para lograr disminuir el consumo eléctrico y poder tener una mejor eficiencia en cuanto a los equipos a instalar del S EO-FV podemos poner en práctica lo siguiente;

- Usar focos ahorradores. Iluminan igual que los incandescentes y consumen 75% menos energía eléctrica.
- Procurar usar electrodomésticos eficientes, esto garantiza que consuma menos electricidad y ubicarlo en sitios ventilados.
- Apagar focos y aparatos eléctricos cuando no los uses.
- Revisar periódicamente la instalación eléctrica para detectar fugas.
- Para evitar un uso intensivo del aire acondicionado, procurar que las puertas y ventanas cierren bien a fin de que entre menos calor a la vivienda
- Utilizar esquema de ahorro y uso eficiente de energía como las reportadas en [13].

REFERENCIAS

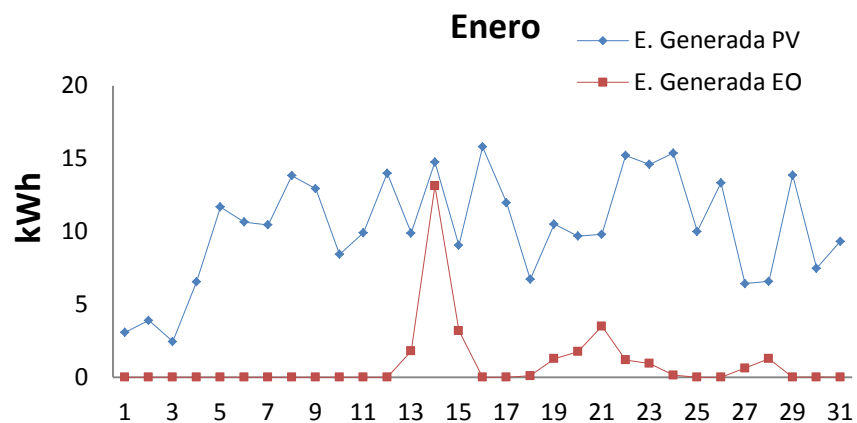
- [1] Hansen, M. O. (Feb 5, 2009). *Aerodynamics of Wind Turbines Second Edition*. Earthscan.
- [2] Portal de Energía BC. Disponible en <www.energiabc.gob.mx>
- [3] Portal de Baja California. Disponible en <www.bajacalifornia.gob.mx>
- [4] Sendiña Nadal, I., & Pérez Muñuzuri, V. (2006). *Fundamentos de Meteorología*. Universidad de Santiago de Compostela.
- [5] Pareja Aparicio, M. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada*. Marcombo, S.A.
- [6] Asociación Mexicana de Energía Eólica AMDEE
- [7] González-Ávila, M. E., Beltra-Morales, L. F., Troyo-Diéquez, E., & Ortega-Rubio, A. (2006). Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México. *SCIELO*.
- [8] Prospectiva de energía renovable 2012-2026. Disponible en <www.sener.gob.mx/>
- [9] Kalogirou, S. (2009). Solar energy engineering: processes and systems. *Elsevier's Science & Technology*.
- [10] Comisión Federal de Electricidad. Disponible en <www.cfe.gob.mx>
- [11] Econotecnía. Disponible en <www.econotecnía.com>

- [12] Cerezo, J., Rosales, P., & Montero, G. Análisis técnico de un Sistema híbrido eólico-fotovoltaico con interconexión a la red, caso de estudio: Casa de la energía en Mexicali, Baja California
- [13] Campbell, H., Pérez Tello, C., & Lambert, A. (2012). Evaluación del comportamiento térmico y energético de viviendas construidas por ingeniería DENNIS
- [14] Mukund, R. Wind and Solar Power Systems Design, Analysis and Operation.
- [15] Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía. Disponible <www.conuee.gob.mx>
- [16] Santillán, N., García, R., & Lambert, A. (2011). Evaluación de la radiación solar y potencial energético para sistemas de baja potencia en la ciudad de Mexicali, B.C.
- [17] Fideicomiso para el ahorro de Energía Eléctrica. Disponible <www.fide.org.mx>
- [18] Cohen, E., & Franco, R. (2000). Evaluación de Proyectos Sociales.
- [19] Al-Shemmeri, T. (n.d.). *Wind Turbines*. Ventus Publising ApS.
- [20] Da Rosa, A. (n.d.). *Fundamentals of Renewable energy processes*.
- [21] Freris, L., & Infield, D. (n.d.). *Renewable Energy in Power Systems*.
- [22] Partida Bush, V. (2005-2050). *Proyecciones de los hogares y las viviendas de México y de las entidades federativas*. CONAPO.
- [23] Duffie, J., & Beckman, W. (n.d.). *Solar Engineering of Thermal Processes*.

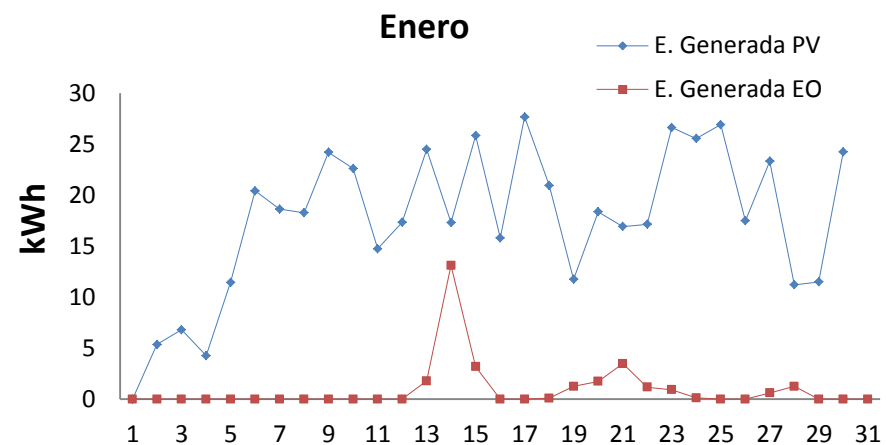
[24] Rosas, J. A., Rosas, D., & Morillón, D. (n.d.). *Saturation, energy consumptions, CO2 emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico.*

APÉNDICES

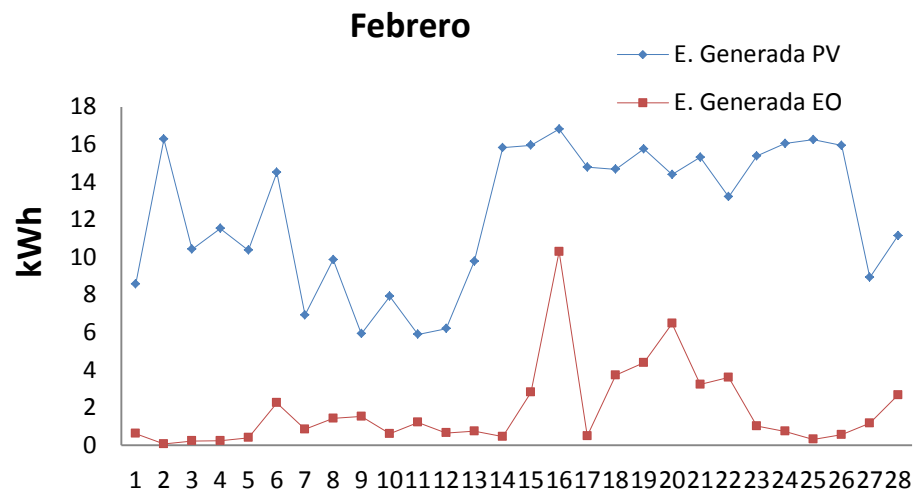
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV



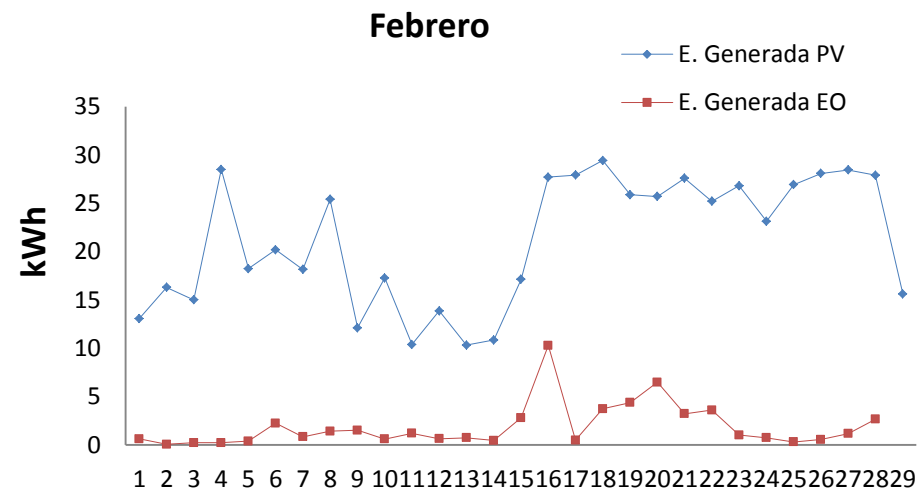
C. Promedio: Energía Generada S EO-FV



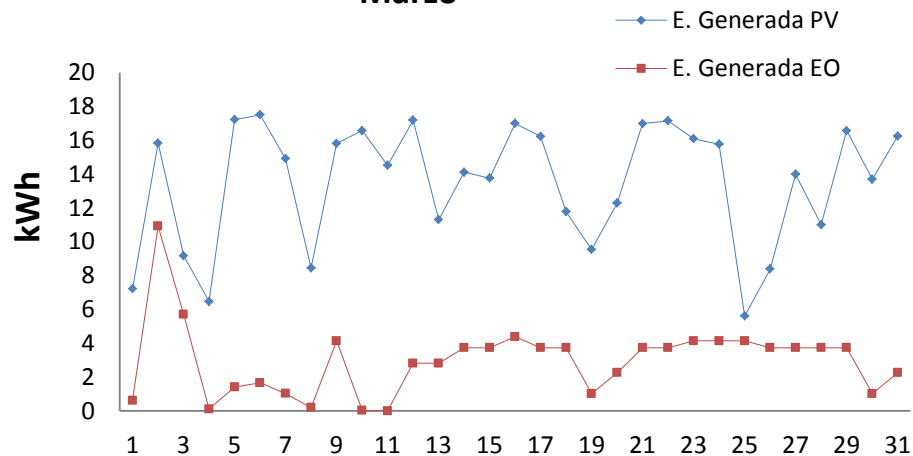
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV



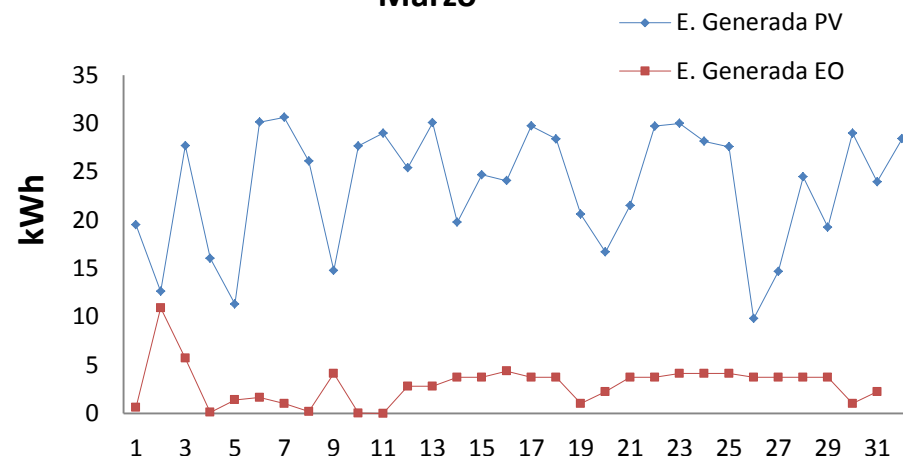
C. Promedio: Energía Generada S EO-FV



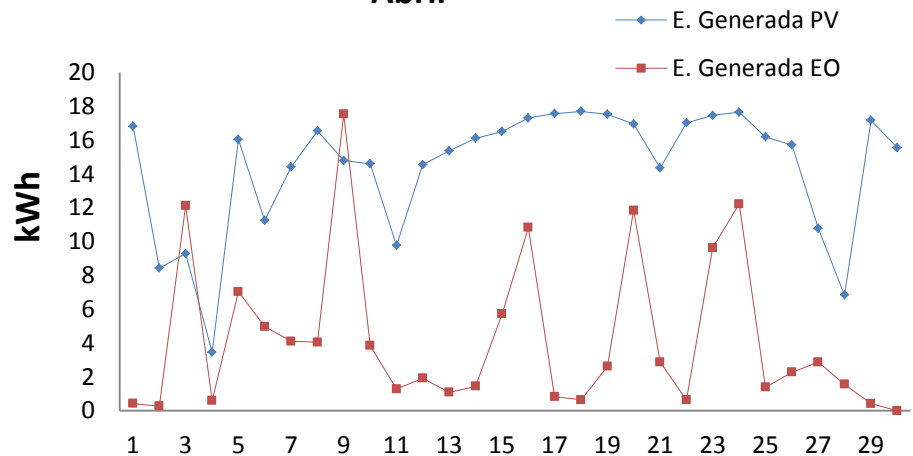
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV
Marzo



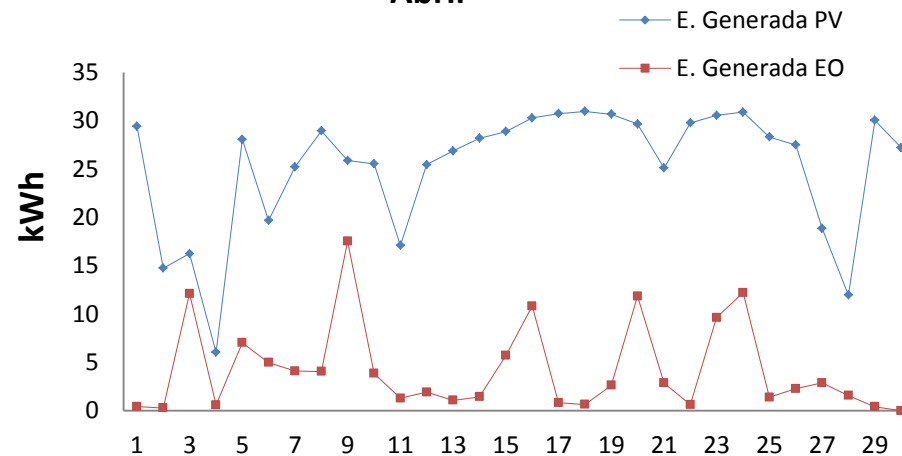
C. Promedio: Energía Generada S EO-FV
Marzo



C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV
Abril

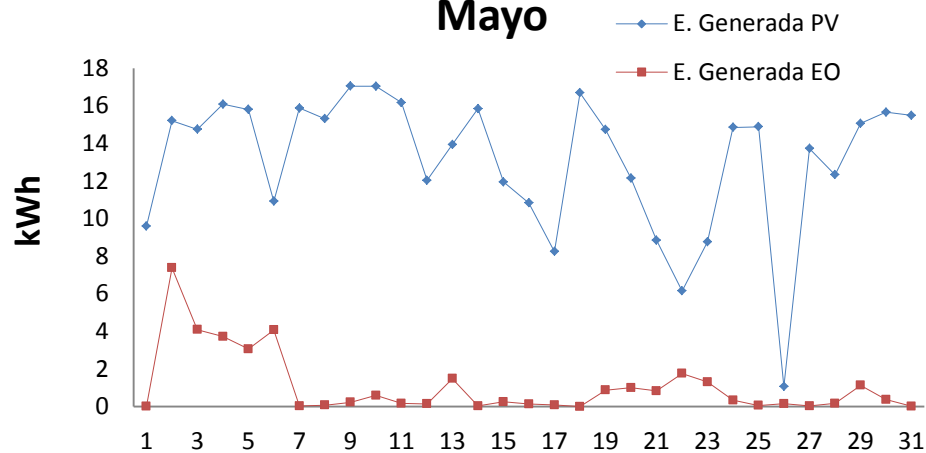


C. Promedio: Energía Generada S EO-FV
Abril



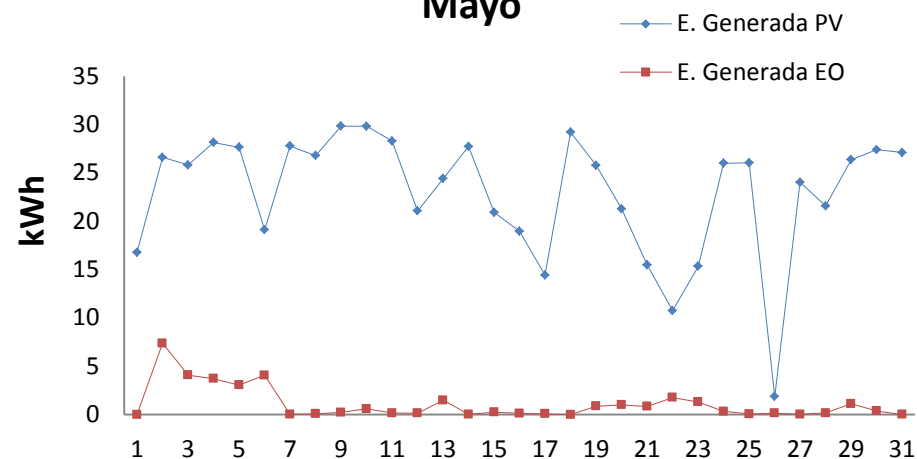
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV

Mayo



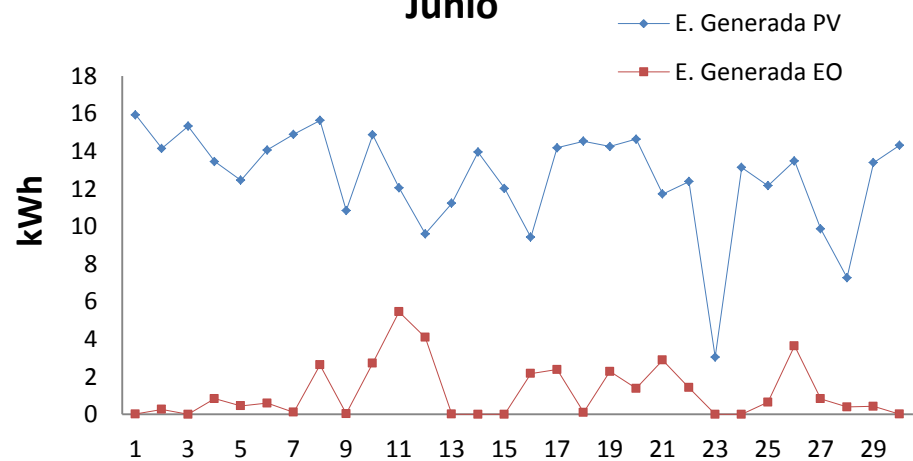
C. Promedio: Energía Generada S EO-FV

Mayo



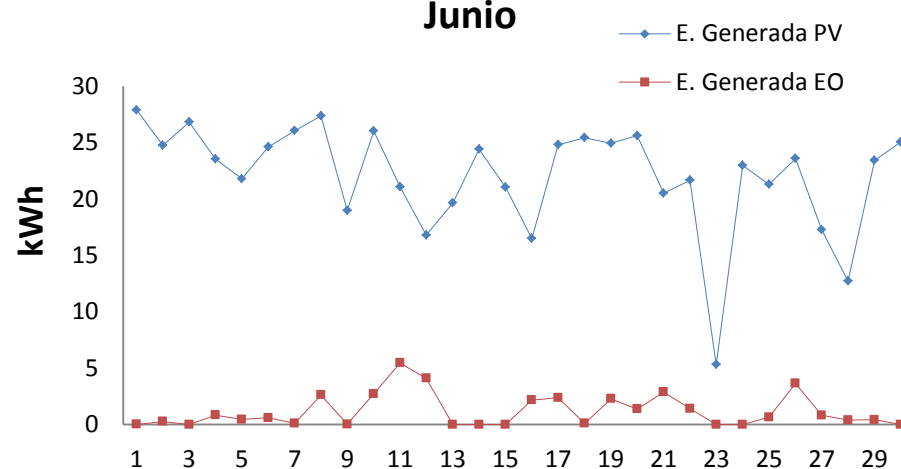
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV

Junio



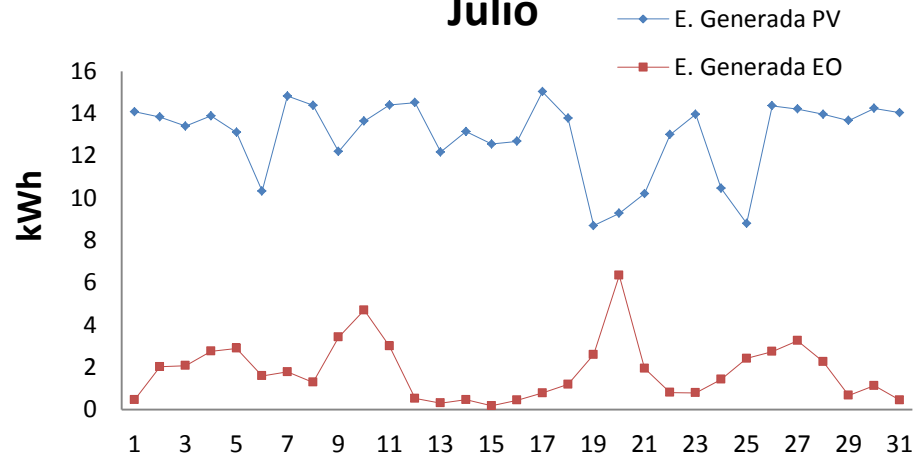
C. Promedio: Energía Generada S EO-FV

Junio



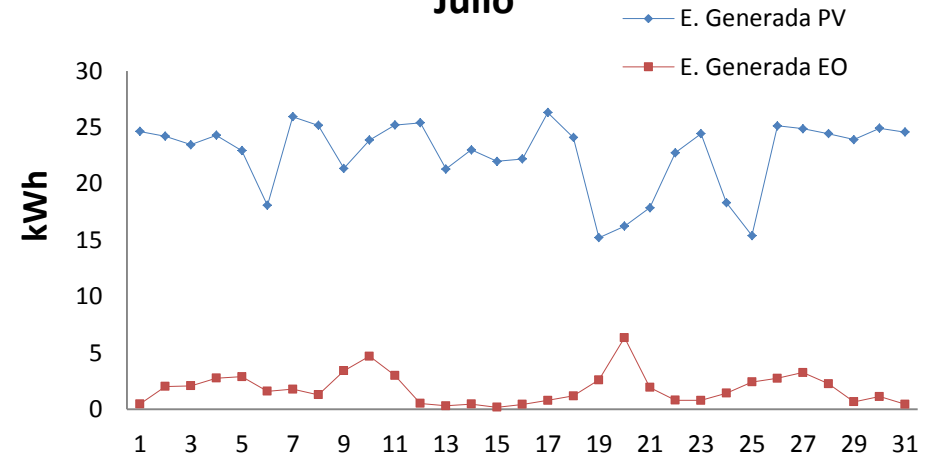
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV

Julio



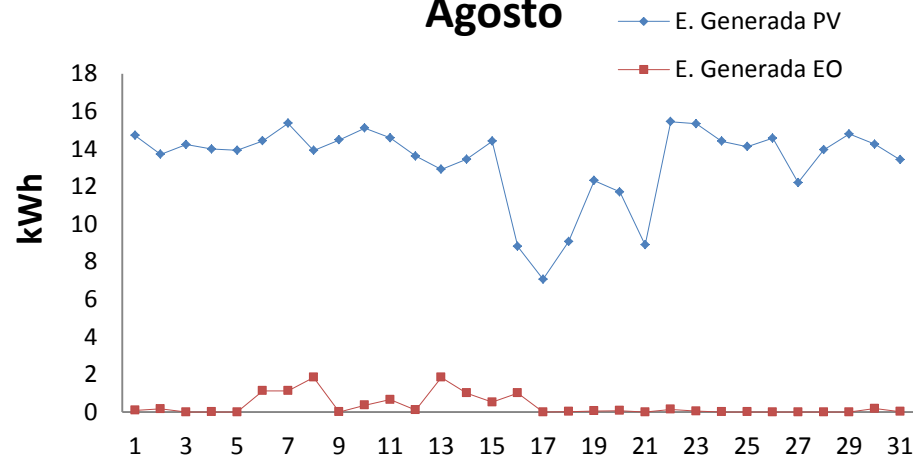
C. Promedio: Energía Generada S EO-FV

Julio



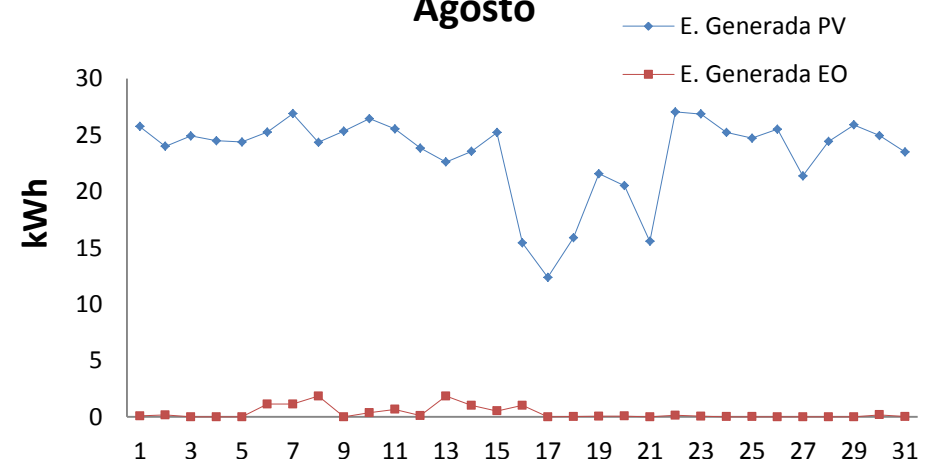
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV

Agosto

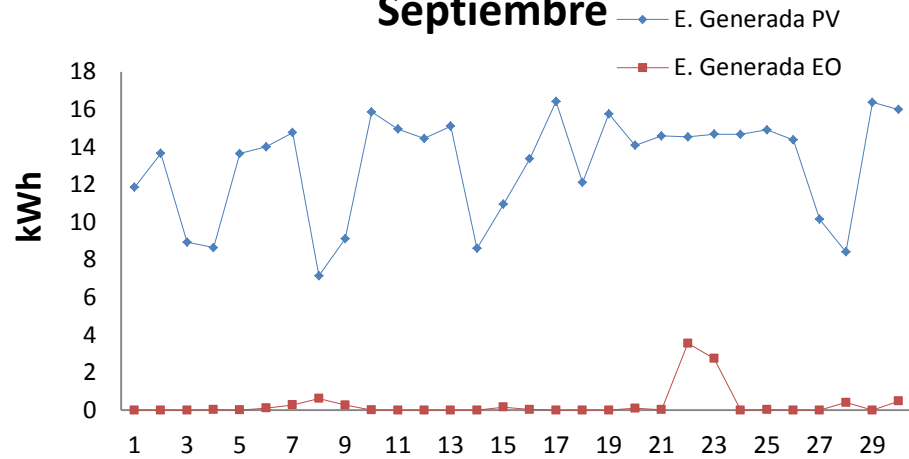


C. Promedio: Energía Generada S EO-FV

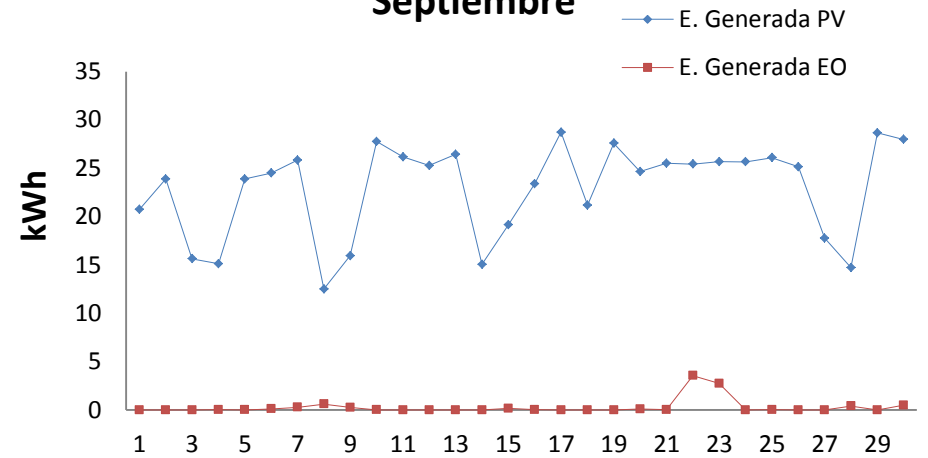
Agosto



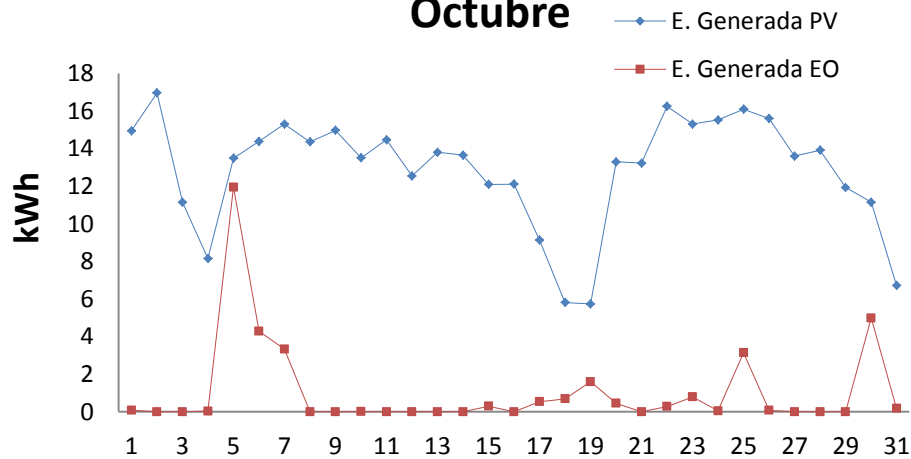
**C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV
Septiembre**



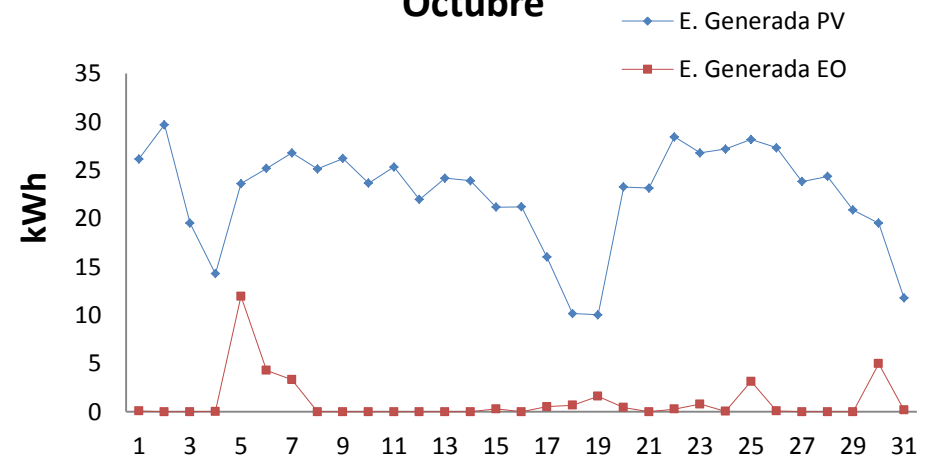
**C. Promedio: Energía Generada S EO-FV
Septiembre**



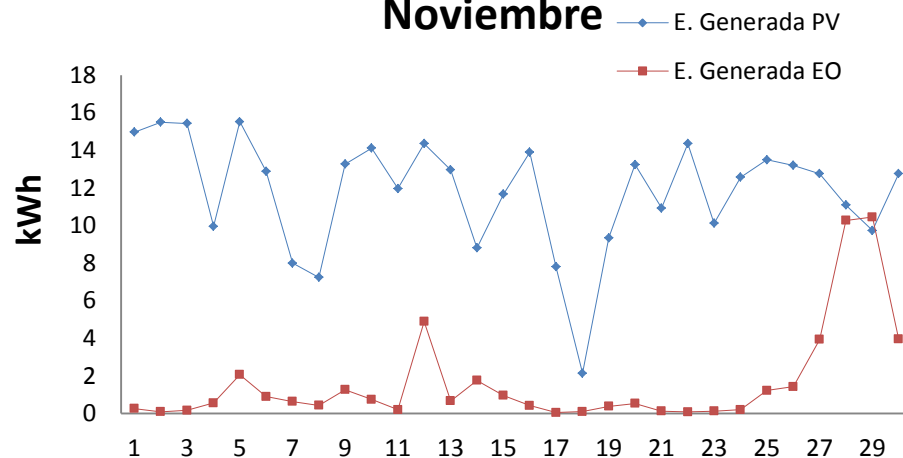
**C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV
Octubre**



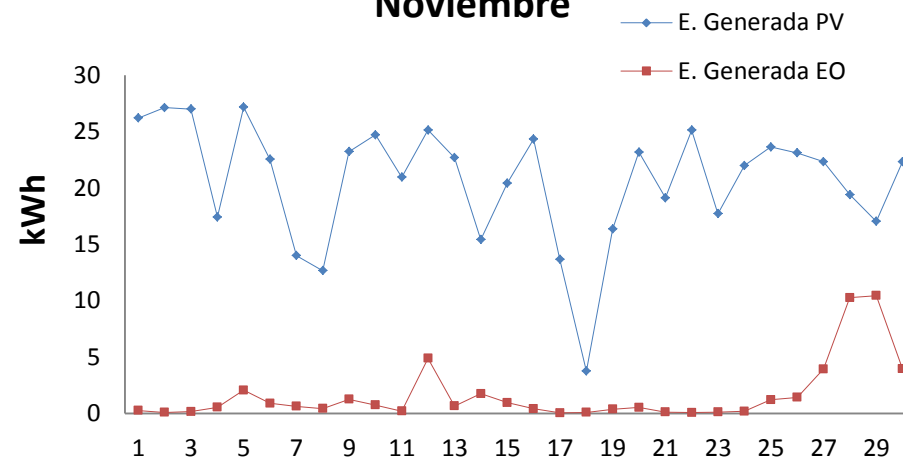
**C. Promedio: Energía Generada S EO-FV
Octubre**



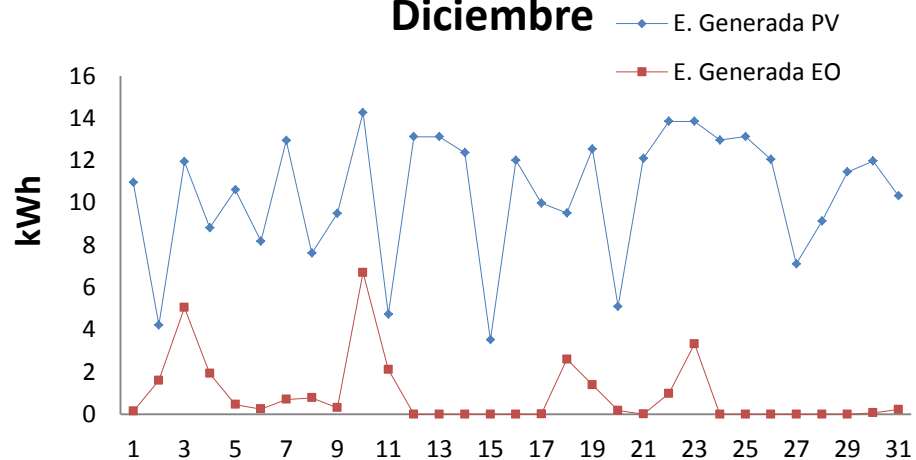
C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV
Noviembre



C. Promedio: Energía Generada S EO-FV
Noviembre



C. Mínimo: Energía Generada S EO-FV
Diciembre



C. Promedio: Energía Generada S EO-FV
Diciembre

