



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO – SOLAR DE PEQUEÑA
CAPACIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DESTINADA A
LA ILUMINACIÓN”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

JORGE LUIS TENA GARCÍA

ASESOR

DR. ERASMO CADENAS CALDERÓN

COASESOR

DR. GONZALO MARIANO DOMÍNGUEZ ALMARAZ

MORELIA, MICHOACÁN, MARZO DE 2012

Este trabajo de tesis lo dedico a los que se fueron: a mi abue Loreto y mi primo Ariel (q. e. p. d.) con especial fervor porque son mis víctimas de la injusta vida. A los que están: mis padres y mi hermano, mis amigos y mi niña amarilla que encuadran mi vida. A los que se quedan: mis compañeros que terminarán esta maestría, que harán con sus fortalezas, la fortaleza del Posgrado de la FIM

*“El hombre sin ideal hace
del arte un oficio, de la ciencia un comercio, de la filosofía un
instrumento, de la virtud una empresa, de la caridad una fiesta, del placer
un sensualismo.”*

José Ingenieros. El hombre mediocre

AGRADECIMIENTOS...

... A mi asesor Erasmo Cadenas, por permitirme ser parte de este proyecto

... A esta Facultad, que me formó como profesional y como persona, y a su Posgrado que me entrenó en los caminos de las ciencias

... A mi Universidad, que me ha cobijado desde mi adolescencia y que me ha permitido distinguir entre la virtud y el vicio

RESUMEN

Mediante la recopilación de información se logró determinar el consumo energético del edificio W de Ciudad Universitaria de la UMSNH, para un periodo considerable de tiempo, de tal forma que se incluyan los sectores viables para la implementación de tecnología para el aprovechamiento de energías alternas.

Se determinó la metodología para llevar a cabo el cálculo de la energía proveniente de fuentes renovables disponible en Ciudad Universitaria para poder ser aprovechada por un sistema de generación eólico – solar. Las propuestas presentadas permiten, según sea el caso, salir de la red nacional de energía eléctrica, teniendo una independencia de CFE, y una autonomía pertinente, también, mediante la implementación de uno de los esquemas propuestos se puede ahorrar hasta un 30% del consumo promedio diario del edificio W.

La factibilidad técnica de la propuesta permitió establecer un beneficio ambiental, de manera que se logró determinar la cantidad de CO₂ que deja de arrojarse a la atmósfera por KW-h producido, por lo que se debe considerar un logro importante tener un valor numérico de este rubro, para asignar en este tipo de proyectos la ponderación adecuada de dicho beneficio.

ABSTRACT

By using a compilation of information was determined the energetic consumption of the W building of the Ciudad Universitaria of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo for a considerable time period, so the areas that were viable to get technology for the exploitation of alternatives energies, were located.

The methodology to get to term the calculation of the energy that comes from renewable sources available in the CU to get exploited by a wind – solar system was determined. De actual proposals let, as needed, get independence from the main electrical network or save up to 30 % of the average electrical consumption

The technical feasibility of the proposals let establish an environmental benefit, so it was possible to determined the quantity of CO₂ that is save and in no longer hurled to the atmosphere for every KW-h produced, which is an important achievement of this paperwork and has to have a transcendent value in order to have an adequate weighting of such benefits

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	Pág. 01
EL PROBLEMA	Pág. 03
OBJETIVO GENERAL	Pág. 05
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Pág. 05
JUSTIFICACIÓN	Pág. 06
HIPÓTESIS	Pág. 10
METODOLOGÍA	Pág. 11
CAPÍTULO 1. Antecedentes	Pág. 12
1.1 Uso eficiente de la energía	Pág. 12
1.2 Protocolo de Kyoto, cumbres del cambio climático	Pág. 13
1.3 Energías renovables	Pág. 15
1.3.1 Tipos de energía renovable	Pág. 16
1.3.1.1 Energía eólica	Pág. 16
1.3.1.1.1 Principio básico de funcionamiento	Pág. 17
1.3.1.1.2 Descripción del proceso de las centrales eólicas	Pág. 17
1.3.1.1.3 Desarrollo de la energía eólica en México	Pág. 18
1.3.1.2 Energía solar	Pág. 18
1.3.1.2.1 Energía luminosa del sol	Pág. 19
1.3.3 Algunos desarrollos de implementación de sistemas híbridos en edificios	Pág. 20
CAPÍTULO 2. Situación actual del edificio W	Pág. 22
2.1 Introducción	Pág. 22
2.2 Equipos instalados	Pág. 22
2.2.1 Turbina eólica	Pág. 24
2.2.2 Celdas fotovoltaicas	Pág. 25
2.2.3 Planta meteorológica	Pág. 26
2.3 Consumo del edificio W	Pág. 27
2.3.1 instalaciones del edificio	Pág. 27
2.4 Método para el cálculo del potencial energético del sitio	Pág. 35
2.4.1 Potencial solar	Pág. 35
2.4.2 Potencial eólico	Pág. 39

CAPÍTULO 3. Energía disponible en el sitio	Pág. 46
3.1 Introducción	Pág. 46
3.2 El viento en C.U.	Pág. 46
3.3 El sol en C.U.	Pág. 50
3.4 Potencial de un equipo híbrido	Pág. 53
CAPÍTULO 4. Evaluación de los equipos instalados	Pág. 55
4.1 Introducción	Pág. 55
4.2 Evaluación de fotovoltaicos	Pág. 55
4.2.1 Producción fotovoltaica	Pág. 56
4.3 Evaluación turbina eólica	Pág. 59
4.4 Eficiencia de un equipo híbrido	Pág. 60
CAPÍTULO 5. Propuesta	Pág. 62
5.1 Propuesta técnica	Pág. 62
5.1.1 Propuesta de un sistema autónomo	Pág. 62
5.1.2 Propuesta de un sistema con interconexión	Pág. 67
APÉNDICE AMBIENTAL	Pág. 72
CONCLUSIONES	Pág. 74
BIBLIOGRAFÍA	Pág. 75

ÍNDICE DE FIGURAS

A. Gráfica comparativa de la cantidad de CO ₂ que va a la atmósfera por TEP Quemada	Pág. 08
1.1 Cambio en mil años de la temperatura promedio de la tierra (azul) y de la concentración de CO ₂ en la atmósfera (rojo).	Pág. 13
1.2 Pronóstico del incremento de la temperatura de diferentes agencias internacionales	Pág. 14
1.3 Esquema de una central eólica	Pág. 17
2.1 Esquemas de instalación. Turbina eólica en isla (izquierda), Celdas solares con interconexión a la red nacional de energía eléctrica (derecha)	Pág. 22
2.2 Diagrama de Decisión a tomar por el inversor – controlador	Pág. 23
2.3 Aerogenerador instalado en edificio W	Pág. 24
2.4 Aerogenerador instalado en edificio W	Pág. 24
2.5 Celdas fotovoltaicas instaladas directamente al centro de carga del edificio W	Pág. 25
2.6 Instalación de la planta meteorológica	Pág. 26
2.7 Circuitos de iluminación, áreas iluminadas. Planta alta	Pág. 30
2.8 Circuitos de iluminación, áreas iluminadas. Planta baja	Pág. 30
2.9 Total. Consumo Ene – Feb 2010	Pág. 32
2.10 Incremento. Consumo Ene – Feb 2010	Pág. 32
2.11 Total. Consumo May – Jul 2011	Pág. 33
2.12 Consumo diario May – Jul 2011	Pág. 33
2.13 Heliógrafo	Pág. 35
2.14 Mapa de promedio mensual de radiación solar en México, mes de Enero	Pág. 38
2.15 Veleta	Pág. 39
2.16 Anemómetro de copas	Pág. 39
2.17 Energía del viento	Pág. 41
2.18 Potencia del viento	Pág. 42
2.19 Diagrama de flujo para determinar la implementación de aerogeneradores	Pág. 44
3.1 Velocidad del viento cada 15 minutos	Pág. 47
3.2 Curva normal de funcionamiento de una turbina eólica	Pág. 48
3.3 Comportamiento de la turbina eólica	Pág. 49
3.4 Gráfica de la potencia solar por unidad de área periodo Mayo- Julio	Pág. 51
3.5 Gráfica de la potencia aprovechable máxima periodo Mayo – Julio	Pág. 52
3.6 Energía disponible para CU, potencia del viento- radiación solar Mayo – Julio 2011	Pág. 54
4.1 Controlador – inversor IG2000 Fronius®	Pág. 56

4.2 Total diario producido. Celdas Fotovoltaicas Mayo – Julio 2011	Pág. 56
4.3 Total diario producido. Celdas Fotovoltaicas Mayo – Julio 2011	Pág. 57
4.4 Máximo producido. Celdas Fotovoltaicas Mayo – Julio 2011	Pág. 57
5.1 Diagrama de instalación de un sistema híbrido sin interconexión a la red con un grado de autonomía	Pág. 64
5.2 Diagrama de un sistema híbrido con interconexión a la red nacional de energía eléctrica	Pág. 68
5.3 Gráfica de la demanda y producción en el periodo estudiado	Pág. 70
B1 Ahorro de CO2 en Libras periodo Mayo – Julio	Pág. 72
B2 Ahorro de CO2 del equipo híbrido con interconexión, para diferentes combustibles	Pág. 73

ÍNDICE DE TABLAS

2.1 Código de colores	Pág. 27
2.2 Áreas de alimentación de la planta baja	Pág. 28
2.3 Áreas de alimentación de la planta alta	Pág. 29
2.4 Consumo promedio (Enero – Febrero 2010)	Pág. 31
2.5 Comparación de diferentes parámetros entre 2010 y 2011	Pág. 34
2.6 Rugosidades de terreno	Pág. 45
3.1 Resumen energía eólica periodo Mayo - Julio	Pág. 46
3.2 Producción de la turbina eólica	Pág. 49
3.3 Resumen de la radiación solar 15 días de Mayo	Pág. 50
3.4 Parámetros de los equipos instalados	Pág. 53
4.1 Celdas Fotovoltaicas. Parámetros obtenidos	Pág. 58
4.2 Comparativa de las eficiencias de conversión	Pág. 60
5.1 Equipos de un sistema híbrido eólico – solar autónomo	Pág. 62
5.2 Principales equipos de un sistema híbrido eólico – solar con interconexión a la red eléctrica y sus características importantes	Pág. 67
5.3 Resultados del sistema híbrido con interconexión a la red	Pág. 70
5.4 Capacidad nominal del sistema híbrido con interconexión	Pág. 71
B1 Comparativa de la quema de diferentes combustibles y la cantidad de CO ₂ a la atmósfera	Pág. 73

Introducción

En la realidad mundial actual, los desarrollos que tienen que ver con las energías renovables y su aplicación para la reducción del consumo de electricidad generada a partir de combustibles fósiles han adquirido un gran auge debido a su contribución al combate del efecto invernadero causado por la quema de dichos combustibles.

Actualmente se destinan grandes inversiones de todo tipo que tienen objetivos diversos, pero con un enfoque generalizado en cuanto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, abarcando desde el mejoramiento de tecnologías ya existentes, hasta el desarrollo de nuevas tecnologías.

Además de esta generalización, también cabe mencionar que existe un amplio campo de aplicación, que va desde el industrial, hasta el automotriz, pasando por las aplicaciones más diversas: celdas de combustible, celdas fotovoltaicas, generadores biomásicos, etc. Estas tecnologías que tienen un evidente impacto positivo en el medio ambiente considerablemente vulnerado por el hombre, están tomando rumbos muy variados. Uno de ellos es que estas tecnologías verdes llaman la atención de pequeños consumidores, es decir, la gente común y corriente empieza a adquirir este tipo de tecnología.

La principal razón por la que se empiezan a implementar las tecnologías limpias es el ahorro que éstas significan, este ahorro implícito existe en varios aspectos, el del consumo eléctrico, el económico y, sobretodo, el ambiental. Al reducir el consumo de energía que viene desde la red implementando cualquier tecnología, que depende de las características del sitio, así mismo dependiendo de la locación se puede considerar que se reducirán en gran medida el impacto ambiental, que es económicamente intangible.

Estos desarrollos comienzan a aplicarse en muchas regiones donde es necesario conservar y utilizar de manera muy eficaz la energía eléctrica, calorífica, etc. Estos sitios son afectados por las situaciones climáticas, generalmente sufren de condiciones extremas en invierno y verano, y no cuentan con grandes recursos energéticos, por lo que resulta necesario aprovechar los disponibles.

Esta situación de necesidad es una cuestión geográfica, pero es, según los expertos, [1] cuestión de tiempo para que este tipo de carencias abarquen cada vez mayores extensiones geográficas dadas las predicciones en cuanto al agotamiento de los recursos no renovables, alrededor del mundo. Es necesario prevenir, al menos esa es una de las posturas (seguramente la más apropiada), y empezar a implementar la conciencia de la necesidad, aún en aquellos lugares que no tienen esas características y en los que, en muchas ocasiones, no se tiene la costumbre para tratar de realizar un consumo más consciente, no

sólo por el tema de la escases, sino para reducir en la medida de lo posible el daño provocado al ambiente, y sus consecuencia.

En Latinoamérica y especialmente en México estas tecnologías se encuentran lejos del alcance de la gente común, esto se debe a que los precios de éstas son muy elevados, y no existen los fomentos adecuados para su implementación, es trabajo de las instituciones de investigación desarrollar la tecnología de manera económicamente viable y autosustentable.

Este último aspecto es la parte central respecto de este proyecto, cuyo enfoque es el de evaluar un equipo que funcione para la ciudad de Morelia, con el objetivo de encontrar las mejores características que los sistemas híbridos deben tener para las instalaciones de un edificio, que en este caso se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

El problema

En el mundo ha existido una cultura histórica del uso irracional de la energía históricamente, que ha provocado al agotamiento paulatino de los recursos y el crecimiento exponencial de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Esto generó un sentido de preocupación que ha venido en aumento, ya que se ha demostrado que los contaminantes generados por la tecnología de la “era del petróleo” han afectado tanto a nuestro planeta que se consideran como los principales causantes del incremento alarmante de la temperatura promedio de la Tierra. Debido a esto se han llevado a cabo varias cumbres internacionales del cambio climático donde se determinó que el incremento de gases de efecto invernadero no debía ser tan alto, y que deberían de tomarse medidas que propiciaran su reducción.

En México aparentemente siempre llegan después las ideas, soluciones y debates que impactan al mundo, por lo que ha habido un rezago considerable en cuanto a los temas de este tipo. A pesar de la difícil recepción ideológica que existe en este país, hoy se empiezan los esfuerzos de algunos sectores para que el tema ambientalista se convierta en una preocupación social. No solo en México, sino en varios países de Latinoamérica comienza a surgir instancias, asociaciones, instituciones, etc., tanto gubernamentales como académicas que exploran los diversos campos para la solución de estos problemas.

En nuestra Universidad se han implementado acciones cuyo objetivo es el de convertir, en la medida de lo posible, nuestra conciencia como entidades y personas universitarias hacia la nueva era social de cuidado al medio ambiente. En nuestras instalaciones educativas, sobre todo las de la Ciudad Universitaria, existen condiciones que no favorecen estos esfuerzos. Tomando como principal de ellos el consumo de energía eléctrica de la UMSNH, es evidente el atraso que existe, ya que es difícil encontrar un registro de la cantidad de electricidad utilizada en cada uno de los edificios de nuestro campus universitario, ejemplo de esto es la Facultad de Ingeniería Mecánica que se encontraba sin un registro hasta el año 2010, fecha en que se consiguió un medidor de potencia que ha registrado el consumo que esta entidad requiere. Pero más allá de este caso que vino por el interés particular del docente Dr. Erasmo Cadenas Calderón que encontró esta falla elemental de la administración universitaria, no se puede llegar a saber de manera clara la situación de la Universidad Michoacana. Así pues, no es del conocimiento público cuáles edificios cuentan con sistemas similares, si es que existen, además se sabe que la rectoría tampoco tiene un registro individual de cada edificio, porque ésta recibe un cobro total que incluye todas las instalaciones actuales de CU.

Estas condiciones ceden paso a que en el edificio W donde se encuentra la FIM, exista un gasto energético que no ha sido estudiado y que parece estar en conflicto con la nueva

política institucional. Se debe reducir el consumo de energía que es causado por hidrocarburos para no contradecir la política que la UMSNH quiere adoptar de beneficio a los desarrollos con enfoque ambientalista dentro de la institución. En la FIM no se han aprovechado en gran medida las fuentes alternas de energía para generar proyectos académicos y fomentar con ellos los desarrollos autosustentables.

Objetivo General

Dimensionar un sistema híbrido eólico-solar de pequeña capacidad para la producción de energía eléctrica destinado a la iluminación

Objetivos específicos:

- Caracterizar las condiciones energéticas de acuerdo al alcance del equipo de medición (estación meteorológica) en Ciudad Universitaria
- Evaluar las posibilidades de la iluminación parcial o total de Ciudad Universitaria con sistemas híbridos.
- Generar una base de datos de la velocidad del viento, humedad, radiación solar, y cualquier tipo de energía relacionada para tener la posibilidad de caracterización del medio y equipos afines.
- Analizar los resultados obtenidos y proyectar a mayor escala el sistema implementado

Justificación

Las problemáticas mundiales exigen hoy un nuevo enfoque en cuanto a consumo se refiere, demandando fortalecer y ejecutar acciones que permitan disminuir la dependencia de los combustibles convencionales, para poder aportar nuestro esfuerzo en la lucha por establecer una conducta ambientalmente responsable, y así tratar de evitar más daños a nuestro planeta que a final de cuentas es nuestro recurso más importante.

En México se ha venido fomentando una conciencia respecto a esta problemática, con el afán de contestar a las demandas que un mundo más enterado de estos temas y en respuesta a lo que se viene vislumbrando, que es la escasez energética de las fuentes no renovables de energía, se ha puesto en marcha una nueva postura gubernamental con la creación de algunas instancias como la CONUEE que en su página principal nos permite ver el giro de sus acciones.

“La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que cuenta con autonomía técnica y operativa. Tiene por objeto promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.”

“La CONUEE queda constituida a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, publicada el 28 de noviembre de 2008, en donde se establece que todos los recursos humanos y materiales de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) se entenderán asignados a esta nueva Comisión.”

México al ser miembro del grupo de países que conforman la cumbre del cambio climático está ligado a las determinaciones que ésta tenga. Como las de la cumbre de Cancún 2010, en donde se firmó un acuerdo que compromete la buena voluntad de los países desarrollados para apoyar económicamente a aquellos miembros de la cumbre con economías en crecimiento para que realicen proyectos con fines de auto sustentabilidad y de reducción de contaminantes.

“Por Aprovechamiento Sustentable de la Energía, se entiende el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética”.

“Dentro del marco vigente, se entiende por eficiencia energética todas aquellas acciones que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los

impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. Quedando incluida, la sustitución de fuentes no renovables por fuentes renovables de energía.” [1]

Esta política gubernamental debe ser la base que promueva el desarrollo y el empleo de nuevas tecnologías en proyectos para usar eficientemente la energía eléctrica y utilizar alternativas amigables con el ambiente y no ser un discurso que termine en buenas intenciones y no en acciones que sí ejemplifiquen y logren el objetivo de contribuir con el planeta y, en buena medida, con la vida misma.

Además de lo ya mencionado es necesario hacer mención que la UMSNH en su Plan de Desarrollo Institucional, en su apartado de “Gestión, Normativa, Planeación y Ejecución” [2], se tienen contempladas acciones para reducir el consumo de recursos y tener un uso responsable de los mismos, por lo que en ese sentido, este proyecto está en concordancia con la política institucional.

Importancia de utilizar fuentes renovables de energías

El principal beneficio de utilizar fuentes alternas para la producción de energía eléctrica se encuentra en la reducción de contaminantes que llegan a la atmósfera. Para poder dar una aproximación de la cantidad de gases que se desprenden a la atmosfera debido a la quema de combustibles [3] tenemos que considerar las siguientes circunstancias; primero; que no todas las fuentes de energía arrojan la misma cantidad, por lo que existen las denominadas Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), la cual:

$$1 \text{ Tep} = 41\,868\,000\,000 \text{ julios} = 11\,630 \text{ kWh}$$

Partiendo del Petróleo, y en cuanto a las emisiones de CO₂ se refiere, partiríamos de los siguientes datos:

$$1 \text{ Tep de Gas Natural} = 2.1 \text{ toneladas de CO}_2$$

$$1 \text{ Tep de Carbón} = 3.8 \text{ toneladas de CO}_2$$

$$1 \text{ Tep de Gasoil} = 2.9 \text{ toneladas de CO}_2$$

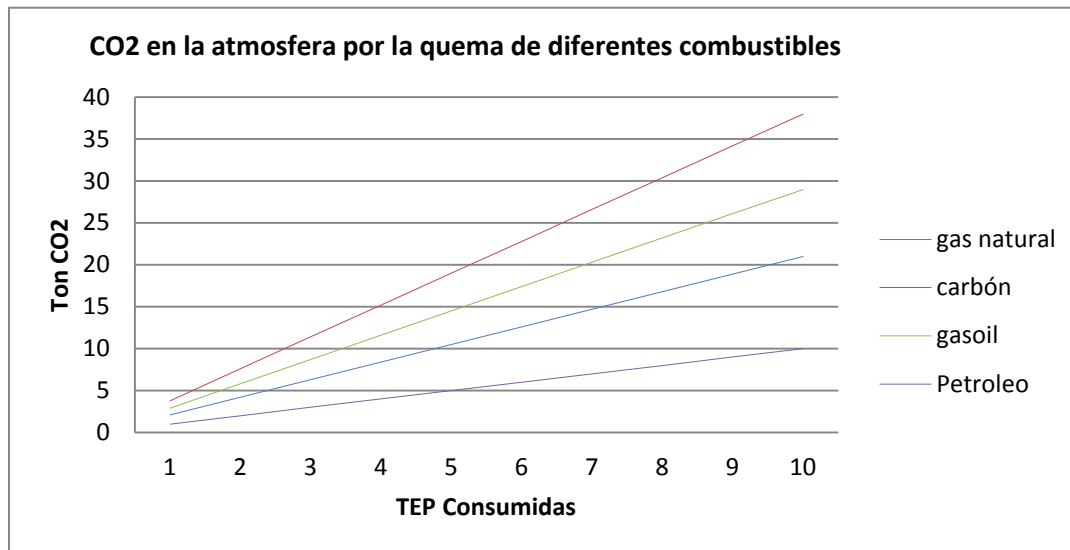


Figura A Gráfica comparativa de la cantidad de CO₂ que va a la atmósfera por TEP Quemada [ref]

Esto nos indica que por cada kWh calorífico producido pueden arrojarse, según sea el caso 0.18, 0.32 o 0.24 kg CO₂, además de los otros productos de la quema de combustibles como CO, sulfuros, etc. De esta forma se puede afirmar que al reducir la dependencia de este tipo de electricidad, ya sea minimizando su consumo ó sustituyéndola por otras fuentes de energía más limpias, se contribuye a la conservación del medio ambiente tan desfavorecido históricamente por el hombre.

La ventaja que ahora se manifiesta en el desarrollo de estos métodos de obtención de energía es que se ha alcanzado un punto en el que comienza a ser rentable este tipo de producción libre de contaminantes y eso, obviamente, ha generado un impacto positivo en su avance, esto es un paradigma sencillo de entender, entre más se desarrolla, más infraestructura genera, más competencia aparece y por lo tanto más investigación. Todo esto favorece su campo de aplicación ampliándolo, y así se vuelve la base para que el progreso se extienda y alcance esos nuevos campos donde es necesaria.

La característica más favorable de algunas fuentes alternas de energía como el sol y el viento, es su disponibilidad en diversas zonas geográficas; por ejemplo, las comunidades aisladas que no tienen acceso a los combustibles o que su poder adquisitivo no favorecen el almacenaje y el consumo de éstos tienen estas opciones para alimentar pequeñas cantidades de energía y no permanecer atrasados en ese sentido. En las grandes ciudades la gente

empieza a adquirir equipos de generación para reducir su dependencia de las redes eléctricas y poder así gastar menos en su recibo de luz invirtiendo en ellos. Todo esto ayuda, sumando también la conciencia de ahorrar energía sustituyendo equipos e instalaciones obsoletas, a que haya un mercado emergente de este tipo de tecnología y lo que es más importante es que la contaminación generada por la quema de combustibles se empiece a controlar y quizás más adelante a reducirse.

La utilización de estos avances tecnológicos es necesaria para que la sociedad, en especial una como la nuestra en vías de desarrollo, alcance un entendimiento de los temas ambientales de impacto directo que nos aquejan, y que adquiera una noción especial sobre los daños irreparables y, por ahora, controlables de nuestro planeta, del clima y del alza en la temperatura global que se ha venido documentando en los últimos años.

La importancia de las fuentes alternas también yace ahí, en ese aspecto cultural con respecto a la conservación del ambiente que debe acrecentarse. Poco a poco los beneficios de la utilización de las fuentes renovables de energía, comienzan a ser mayores, ya que el aspecto económico, que antes se veía desfavorecido por las inversiones en este rubro, ahora comienza a encontrar que estos desarrollos pueden traer un ahorro en cuanto a las ganancias que para algunos sectores sigue siendo lo más trascendente, y lo curioso del caso es que hasta que empezó a verse este lado de la moneda, fue que el impulso del aprovechamiento de las fuentes alternas de energía alcanzó un crecimiento substancial. Hoy en día este crecimiento se da de manera paulatina pero con un aumento que se podría decir exponencial gracias a los diversos programas y estudios que lo fomentan.

A pesar de lo que el aspecto económico pueda haberse mejorado y que las fronteras de estas nuevas tecnologías están todavía muy lejos, es necesario decir que todos los esfuerzos que se han puesto en marcha aún resultan insuficientes debido a que los daños que el planeta aqueja no han cesado y aparentemente no lo harán pronto, por eso es de suma importancia acelerar la implementación de planes para contribuir en alguna medida a reducir las secuelas de éstos.

Hipótesis

A partir de un equipo híbrido eólico – solar piloto es posible dimensionar un sistema híbrido que satisfaga las exigencias de consumo de iluminación en un edificio y en base al análisis de los resultados proyectar a mayor escala dentro de la Ciudad Universitario de la UMSNH

Metodología

Una pequeña descripción del procedimiento que se ha de seguir para realizar el dimensionamiento del equipo híbrido para la iluminación del edificio W se hará a continuación:

1. Mediante un equipo híbrido solar - eólico se satisfizo la demanda de iluminación de una zona de un edificio de la ciudad universitaria, dicho equipo funcionó como piloto, para tener un punto de referencia a partir del cual se pudo definir su eficiencia y se sometió a una evaluación estricta de sus principales características, y de las condiciones de operación que brinda Ciudad Universitaria
2. Se instaló una estación de medición (planta meteorológica) que permitió establecer las condiciones con las que cuenta C. U. para saber en qué situación se está operando el equipo híbrido piloto
3. A partir de los datos obtenidos se realizó la caracterización de las variables de diseño del sistema híbrido y el dimensionamiento teórico del sistema, realizando una propuesta que satisface las condiciones de consumo del edificio W.
4. Se hizo una evaluación del impacto ambiental y de consumo que tiene dicho equipo.

Nota: el equipo antes mencionado y sus características y especificaciones se hallan en el anexo A1 de este documento

CAPÍTULO 1. Antecedentes

1.1 Uso eficiente de la energía

El uso eficiente de la energía es un tema que se ha ido desarrollando poco a poco a lo largo de los años. Últimamente se ha enfatizado éste porque las voces que se han pronunciado a favor del ahorro energético y de sus beneficios generales se han incrementado tanto en número como en volumen y presencia.

Cabe mencionar que originalmente el ahorro de energía tenía su más alta justificación en un ámbito empresarial sobre todo en el aspecto económico, cuando buscando obtener mayor beneficio en cuanto a capital se refiere, se hacían los diagnósticos y así mismo se implementaban las recomendaciones y correcciones para evitar alguna “fuga de ganancias”.

Hoy en día el aspecto económico se ha vuelto un factor que, a pesar de ser determinante, no es el único a considerar para llevar a cabo un análisis y diagnóstico de los sistemas eléctricos, que operan en los diversos campos: industrial, escolar, o en el mismo hogar. Ahora existen otros argumentos que tienen un peso significativo para ahorrar y volver más eficiente una instalación, aunque el capital de inversión inicial no se recupere de manera inmediata.

Generaciones pasadas llevaron al mundo a un estado de desarrollo que exige un alto consumo de energía, en el cuál por mucho tiempo no existió una “conciencia energética”, se despilfarraban recursos de este tipo al no existir un consumo responsable que en ese momento no parecía algo tan importante como lo es hoy en día. En los inicios de esta era de alta demanda energética, se recurrió a los combustibles fósiles como principal fuente de energía. Durante mucho tiempo y hasta hace pocos años los combustibles provenientes del petróleo monopolizaron la generación de electricidad, dejando de lado otras opciones que no contaban con el apoyo de una sociedad que, interesada en la tecnología que llegaba masivamente y que de igual manera dependía de grandes cantidades de energía de forma rápida, no daba oportunidad a que nuevas alternativas se desarrollaran a la par de las tecnologías ya existentes.

A lo largo de muchos años y estudios se determinaron varios elementos a considerar sobre las tecnologías que empleaban la quema de derivados del petróleo para la obtención de energía. Los estudios dieron datos muy importantes que en estos tiempos comienzan a resaltar; primero, las reservas petroleras se hallan en un punto que predice un declive fatalista, en el que se ha proyectado una escasez de este producto para los próximos años; segundo, la baja producción de estos recursos ha encarecido los mismos, haciendo que los

consumidores resientan este impacto de alza de precios en muchos aspectos dentro de los cuales se encuentra el consumo de energía eléctrica; tercero, y más importante, la quema de combustibles fósiles, repercute directamente en el medio ambiente, lo que ha ocasionado fenómenos como el efecto invernadero y el cambio climático debido al aumento de los gases emitidos a la atmósfera provocando la retención de calor y un incremento de la temperatura del planeta. Por eso es primordial disminuir el consumo energético por medios convencionales, causantes de estos problemas.

1.2 Protocolo De Kyoto, cumbres del cambio climático

El Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases causantes del calentamiento global (gases de efecto invernadero): dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), Perfluorocarburos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. Por ejemplo, si la contaminación de estos gases en el año 1990 alcanzaba el 100%, al término del año 2012 deberá ser del 95%. Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5%, sino que éste es un porcentaje a nivel global y cada país obligado por Kyoto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir.

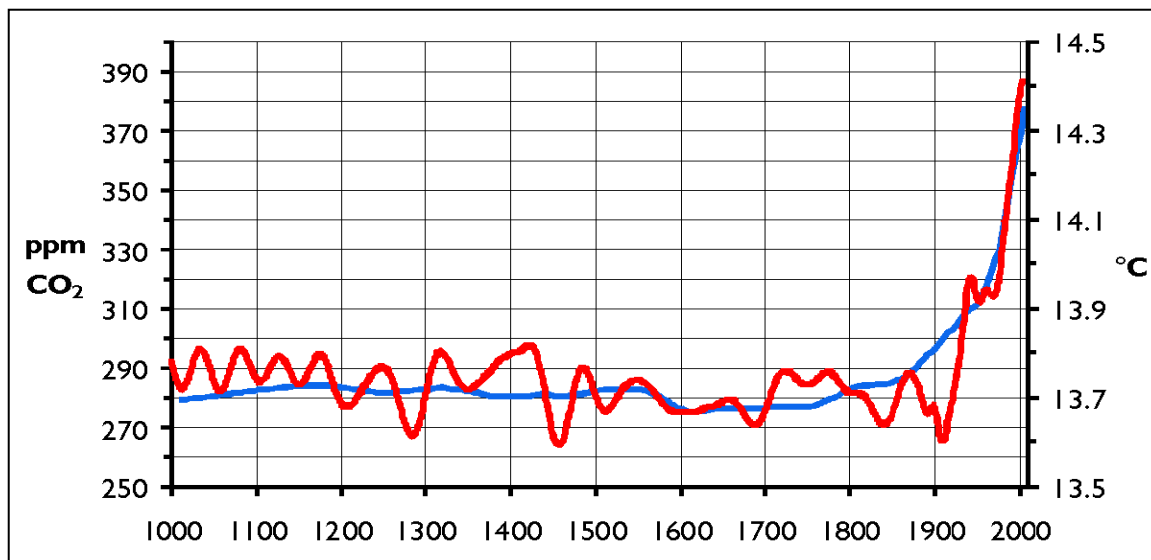


Figura 1.1 Cambio en mil años de la temperatura promedio de la tierra (azul) y de la concentración de CO_2 en la atmósfera (rojo). [14 ref]

Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. El protocolo vino a dar fuerza vinculante a lo que en ese entonces no pudo hacer la CMNUCC.

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kyoto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.

El objetivo principal es disminuir el cambio climático antropogénico cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8 °C de aquí a 2100, a pesar que los inviernos son más fríos y violentos. Como puede observarse en la Figura 1.2 que nos muestra la proyección de la temperatura promedio de la tierra de diferentes agencias no gubernamentales. Esto se conoce como Calentamiento global. «Estos cambios repercutirán gravemente en el ecosistema y en nuestras economías», señala la Comisión Europea sobre Kyoto.

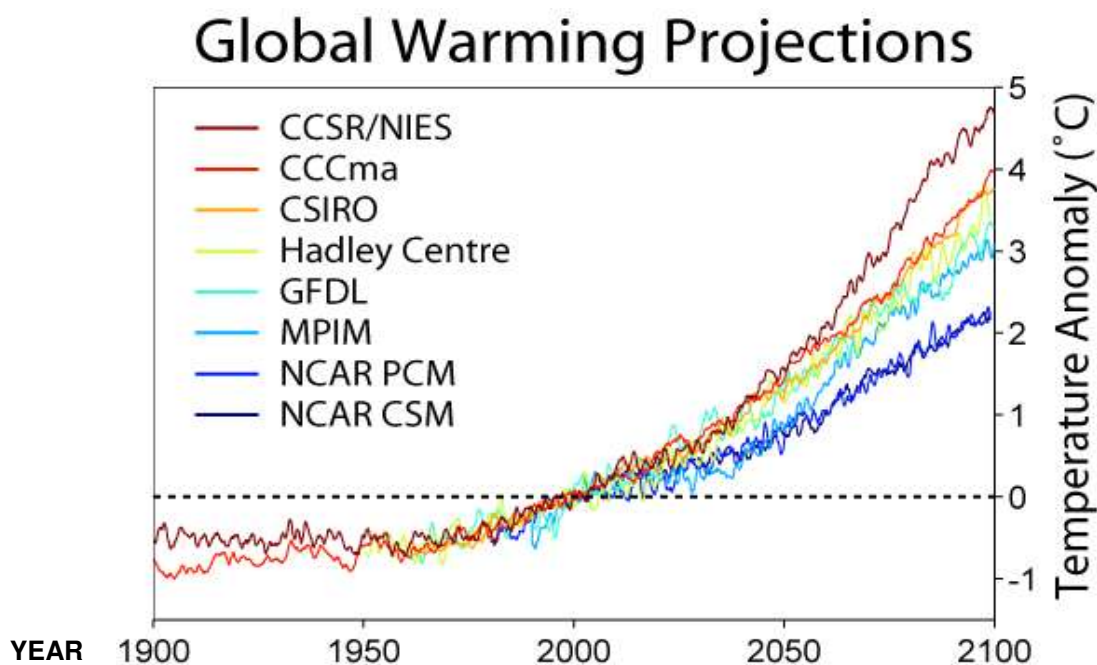


Figura 1.2 Pronóstico del incremento de la temperatura de diferentes agencias internacionales. [14 ref]

Una cuestión a tener en cuenta con respecto a los compromisos en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es que la energía nuclear queda excluida de los

mecanismos financieros de intercambio de tecnología y emisiones asociados al Protocolo de Kyoto, pero es una de las formas de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en cada país. Así, el IPCC en su cuarto informe, recomienda la energía nuclear como una de las tecnologías clave para la mitigación del calentamiento global.

En la reunión de Copenhague se reconoció que los países desarrollados debían presentar planes para la reducción de los contaminantes, se exhortó a realizar acciones preventivas a los países con economías emergentes, así se determinó reportarlo en las siguientes cumbres del cambio climático, así mismo, este tipo de eventos nómadas se llevan a cabo con regularidad, de manera periódica y siempre llevándolo a diferentes puntos del orbe. De tal forma que en 2010 se llevó a cabo la convención del cambio climático en territorio mexicano, en Cancún.

En la última junta de la convención del cambio climático, Cancún 2010, se determinó que los objetivos de los convenios que en las anteriores ediciones de ésta, habían sido, y serían incumplidos, por lo que los representantes de aquellos países que caerían en una falta quedarían expuestos. En este caso se concluyó que los países desarrollados serían absueltos de sus responsabilidades anteriores, asumiendo un compromiso para apoyar económicamente a los países en desarrollo, miembros de la cumbre, para que en estos últimos se lleven a cabo también diferentes proyectos en apoyo a los desarrollos sustentables y energías renovables

1.3 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables se entienden como aquellas fuentes de energía que son aprovechables para la generación de electricidad pero que son inagotables. A diferencia de los combustibles fósiles las fuentes renovables de energía son, por así decirlo, interminables, esto se debe a su equilibrio natural y a que son recursos que si bien tienen un final de vida pronosticado, éste se encuentra a muchos miles de años. Entre los más importantes se encuentran: la energía del sol, del viento, de la geotermia, de las mareas y de las corrientes de agua, principalmente.

Todas las instalaciones que utilizan esta clase de fuentes energéticas que brindan, además de la potencia necesaria, un trato mucho más digno al ambiente. Su característica que más llama la atención es que al explotar estos recursos se reduce en gran medida la emisión de los gases dañinos que las fuentes típicas de energía generan.

En la actualidad se comienza a trabajar para que estos recursos sean más ampliamente aprovechados, ya los desarrollos de la tecnología necesaria para llevar a cabo dicho

aprovechamiento comienzan a imponer una tendencia muy favorable. Los tratados internacionales han propiciado que los gobiernos y los empresarios lleven a cabo la elaboración de la infraestructura necesaria para convertir lo que antes era experimental en algo que ya se empieza a llevar a la práctica.

El empleo de las energías renovables para producir electricidad no sólo se trata de un tema de moda sino del futuro en la generación de electricidad, si tomamos en cuenta que los recursos fósiles se empiezan a agotar y que su costo ambiental es demasiado elevado. Acceder a emplear energías limpias para reducir el consumo eléctrico por medio de los hidrocarburos permitirá al hombre paulatinamente irse independizando de estos medios energéticos y además terminar el perjuicio que se ha hecho al ambiente.

1.3.1 Tipos de energía renovable

Existen muchos tipos de energía renovable, su característica principal es que, a diferencia de los combustibles fósiles, su presencia en el planeta ésta pronosticada a superar la permanencia del hombre en el mismo, es decir, que el punto crítico de su agotamiento es tan lejano que se consideran como energías inagotables. Las fuentes energéticas que aquí se presentan son la solar y la eólica, pues son las que competen a este trabajo de investigación, a pesar de que existen muchas otras, ejemplos de éstas son: energía geotérmica, energía mareomotriz, energía nuclear, entre otras.

1.3.1.1 Energía eólica

La energía eólica es aquella que es producida por las corrientes de viento. Las corrientes de viento son generadas por la termodinámica de éste, de forma tal que el viento con menor temperatura baja y el de mayor temperatura sube debido a la diferencia de sus densidades. Después el viento de alta temperatura se enfría conforme va subiendo y el de baja se calienta mientras va bajando convirtiendo la circulación del aire en un ciclo continuo.

La energía del viento es utilizable por medios mecánicos, de forma que al hacer mover una turbina eólica se puede obtener un trabajo (como lo hacen los molinos), y con un generador eléctrico complementario es posible aprovechar la rotación provocada por el viento y así producir electricidad (como lo hacen los aerogeneradores). [4]

1.3.1.1 Principio básico de funcionamiento

Existen aerogeneradores de eje vertical y horizontal, la diferencia principal entre éstos es que el primero utiliza un a fuerza de acción para recibir la energía de velocidad del viento y transformarla en movimiento, mientras que los últimos funcionan bajo el principio de reacción para producir el giro que servirá para hacer girar un rotor, el cual se debe acoplar a un generador eléctrico para producir electricidad sin emisiones contaminantes. Los de eje horizontal son los de mayor aceptación en el mundo dado que aprovechan de mejor manera altas velocidades de viento y tienen una eficiencia bastante aceptable.

Para describir un poco el principio de funcionamiento de un aerogenerador horizontal se puede realizar una analogía con el principio de sustentación y empuje que rige los diseños aerodinámicos de un ala de avión, así el aspa de una turbina eólica debe tener un cierto perfil que favorezca por un lado el flujo de aire y éste aumente su velocidad, mientras por el otro lado ocurre lo contrario, de esta diferencia de velocidades se genera una diferencia de presiones. La finalidad de crear esta diferencia de presiones es que el aspa (pala), se mueva con dirección del lado de baja presión. De esta forma se obtiene la rotación para producir electricidad en el generador eléctrico.

1.3.1.2 Descripción del proceso de transformación de energía de las centrales eólicas

Este tipo de central convierte la energía del viento en electricidad mediante una aeroturbina que hace girar un generador. Es decir, aprovecha un flujo dinámico de duración cambiante y con desplazamiento horizontal, de donde resulta que la cantidad de energía obtenida es proporcional al cubo de la velocidad del viento.

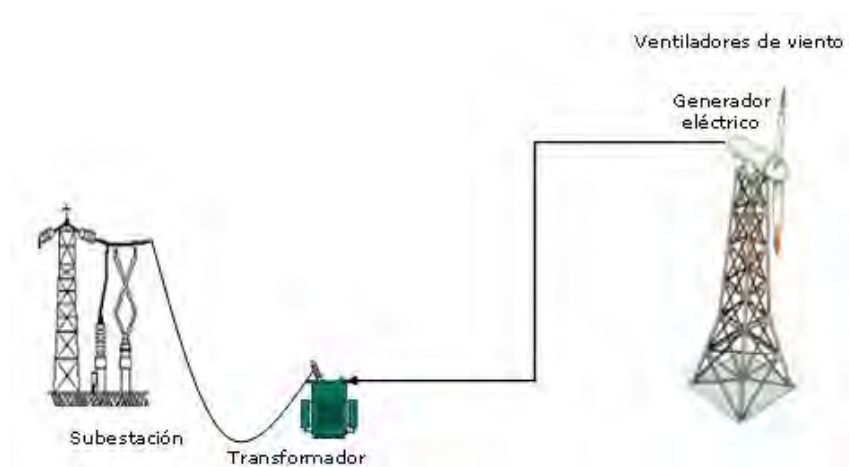


Figura 1.3 Esquema de una central eólica [1] ref

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

1.3.1.1.3 Desarrollo de la energía eólica en México

Además de la geotermia, la única fuente de energía alterna que se ha desarrollado en gran escala en México en zonas de corrientes de viento que favorecen una competitividad económica, es la energía eólica. Muestra de ello son los sitios que hoy se encuentran operando en el país.

Central eólica de La Venta, Oaxaca

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

Central eólica de Guerrero Negro, Baja California Sur

Se ubica en las afueras de Guerrero Negro, Baja California Sur, dentro de la Zona de Reserva de la Biósfera de El Vizcaíno. Tiene una capacidad de 0.600 megavatios y cuenta con un aerogenerador

1.3.1.2 Energía solar

La obtención de electricidad por medio de este recurso es muy lógica, considerando la dependencia de la energía del sol que siempre ha existido para el sustento de la vida en el planeta. Es decir, que aprovechar la energía que recibimos del sol significa regresar a lo más natural. El sol nos puede proveer de dos tipos de energía aprovechable: la luz y el calor.

1.3.1.2.1 Energía luminosa del sol

Una celda solar es un dispositivo que convierte la energía de la luz del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión. El efecto fotovoltaico, es decir, convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, las cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas. Al incidir los rayos del sol en un semiconductor, algunos de los electrones de la banda de valencia absorben energía de los fotones y pasan a la banda de conducción donde pueden ser llevados fácilmente a un circuito externo generando por tanto una corriente electrónica. Al dejar su lugar los electrones, provocan en el material “huecos”, considerados como una partícula de signo positivo, los cuales también se “mueven” como una corriente en sentido opuesto a la electrónica. Este movimiento se asemeja al desplazamiento de una burbuja en el agua. [6]

La estructura física, o arreglo atómico, de los semiconductores se puede dividir en tres grupos: Cristal simple, policristalino y amorfo. La estructura de cristal simple se caracteriza por un ordenamiento periódico de átomos obteniendo una forma geométrica tridimensional de un paralelepípedo. Tal es el caso del Silicio el cual comparte cada uno de sus cuatro electrones de valencia en una unión covalente con cada átomo vecino de silicio, el sólido por lo tanto, consiste en una unidad básica de 5 átomos de silicio, el átomo original más los cuatro átomos con los que comparte sus electrones de valencia. Un material policristalino está compuesto de varias subsecciones cada una de ellas con forma cristalina, estas subsecciones tienen una orientación independiente y regularmente, en sus interfaces se producen discontinuidades. Un material amorfo no tiene una regularidad en su arreglo atómico, hoy en día 25% a un 30% de las celdas solares son fabricadas con materiales policristalinos, son menos costosas de construir, por unidad de área, que las celdas solares de cristal simple; sin embargo, tienen una menor eficiencia y a menudo una mayor sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales, por lo que en general son utilizados con concentradores ópticos de luz solar. [6]

Este sistema se ha utilizado por años para satisfacer demandas mínimas en algunos dispositivos electrónicos, y en últimas fechas para aumentar la eficiencia de consumo de energía en el medio urbano y rural. Aunque cabe mencionar que el desarrollo de manera comercial para la generación de energía fotovoltaica a gran escala se ha visto frenado por los altos costos de las celdas quedando su uso más popular en instalaciones locales de edificios inteligentes o lugares aislados donde la red de energía eléctrica no llega.

Los sistemas que dan electricidad localmente, o bien que únicamente alimentan el propio edificio en el que están localizados, se llaman autosustentables. Estos sistemas deben emplear, para obtener buenos resultados, más allá de la cantidad necesaria de celdas fotovoltaicas, un controlador, un banco de baterías, un inversor de corriente, y un

amplificador de voltaje, además de un controlador, para monitorear la cantidad de energía almacenada. Sólo de esta forma se pueden comprender listas las instalaciones solares para producir la energía en cantidad y con la calidad necesaria para alimentar un sistema eléctrico común.

Los sistemas fotovoltaicos de gran magnitud necesitan mucho espacio y un lugar óptimo para la captación de los rayos del sol, pero no necesitan mayor mantenimiento ni operación que el de comunicarse directamente a la red y aprovechar las excedencias de energía (en ocasiones) para alimentar baterías que serán empleadas después para suministrar energía extra por las noches.

1.3.3 Algunos desarrollos de implementación de sistemas híbridos en edificios

Generalmente los desarrollos que buscan hacer eficientes los edificios para que el consumo energético sea el mínimo o que sea realizado con una conciencia de que es necesario optimizar las diferentes áreas del consumo, se realizan de la concepción misma de dicho desarrollo, pudiendo ser urbano o rural. Esto se realiza de esta forma porque el reto de reinventar, rediseñar, o dicho de otra manera, corregir los errores del pasado, o simplemente actualizar las instalaciones eléctricas de edificios viejos, conlleva un esfuerzo demasiado grande, y conduce a una optimización parcial, y a veces innecesaria, desde el punto de vista de lo económico, de éstos. [7]

Las instalaciones obsoletas generan una gran cantidad de problemas adicionales a los del cálculo de un consumo y la implementación de alguna tecnología que utilice fuentes renovables de energía, generalmente a edificaciones de este tipo se les hace una recomendación de que antes de pensar en invertir una cantidad importante de dinero, comiencen por la reducción de gastos innecesarios. Generalmente, estos gastos se producen por equipos de iluminación, refrigeración, calefacción, etc., que se vuelven obsoletos y poco eficientes, por este motivo es imprescindible primero revisar esos puntos claves, para la renovación y reducción del consumo de un edificio. [7]

Algunos desarrollos que utilizan las energías renovables para la producción propia de energía eléctrica se nombran a continuación [7]:

Vertical Village: será un complejo hotelero y de entretenimiento que utilizará una construcción adecuada, para aprovechar la energía del sol en todo momento es llamado “el hotel que aprovechará todo el sol de Dubái”. Todavía no se construye

Kroon Hall: edificio para los estudios Forestales y Ambientales de la Universidad de Yale, en Connecticut, redujo en un 60% el consumo energético que tenía antes, en este sitio se imparten clases, hay bibliotecas, oficinas, centros de estudio y un auditorio

Twelve West: 23 pisos de altura, este edificio en Portland, Oregon es de uso mixto. La reducción en el uso de la energía alcanza el 45% el cual se compone de diseño pasivo y sistemas artificiales como turbinas y paneles termosolares.

Estos ejemplos son de variadas concepciones, pero representan las principales formas en que se aplican las energías renovables a las edificaciones, desde los grandes complejos, de un lujo muy alto, hasta los espacios de educación, en donde se busca la reducción del consumo energético. Además de estos desarrollos se debe tener en cuenta que la mayoría de los proyectos autosustentables se realiza en los países desarrollados. Adicionalmente se habla de nuevos edificios o construcciones y pocas veces de actualizar o de optimizar de instalaciones ya existentes.

CAPÍTULO 2. Situación actual del edificio W

2.1 Introducción

Para realizar las diferentes actividades planteadas en el apartado de Metodología debemos comenzar con la identificación de los sistemas empleados, así como de las condiciones de consumo de la facultad de ingeniería mecánica. Es de vital importancia definir que los equipos aquí mostrados están ya instalados en el edificio estudiado, por lo que sobre estos se debe realizar los diferentes cálculos y consideraciones

2.2 Equipos instalados

Para poder realizar varias de las actividades se instalaron diferentes equipos en el edificio W, un generador eólico, un conjunto de celdas fotovoltaicas, y un equipo de medición (planta meteorológica). Todos los anteriores con los equipos auxiliares correspondientes, a continuación un diagrama de la instalación, y el modo de funcionamiento de cada uno. En una instalación aislada se emplearon una turbina eólica con su generador eléctrico, un banco de baterías, que cuenta de una batería, un inversor y directamente sale a un contacto. En una estación interconectada a la red del edificio dependiente de CFE se instalaron: un conjunto de celdas fotovoltaicas, en total 8, que llegan a un dispositivo que tiene la función de controlador e inversor, de ahí pasa a un centro de carga como una segunda fuente eléctrica a la par de la proveniente de la red nacional.

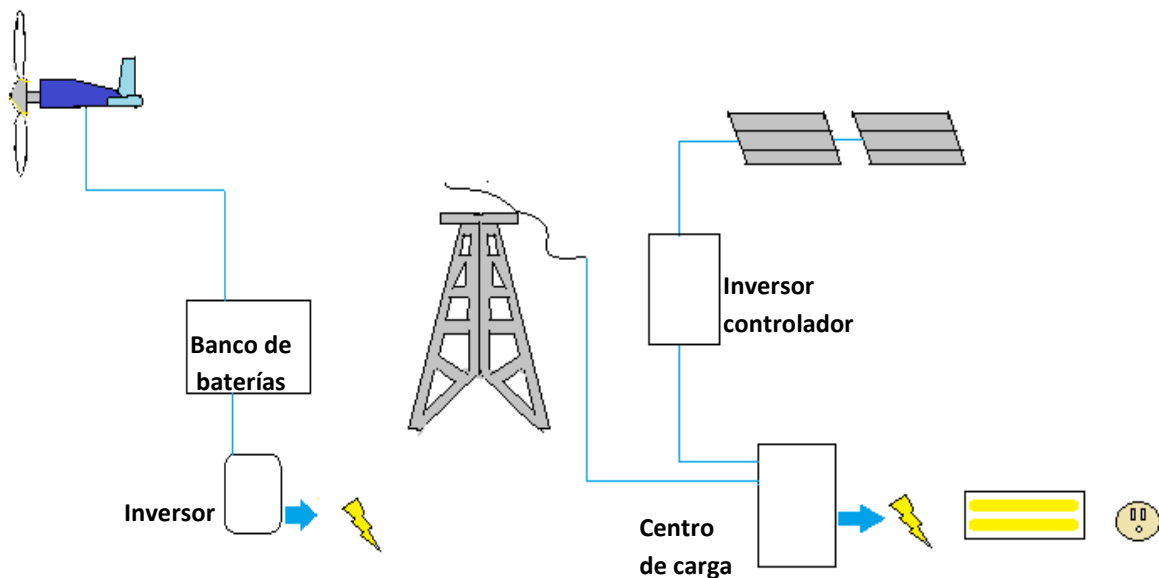


Figura 2.1 Esquemas de instalación. Turbina eólica en isla (izquierda), Celdas solares con interconexión a la red nacional de energía eléctrica (derecha)

Se puede observar de estos esquemas que los equipos que necesita el generador eólico para funcionar son: una unidad de almacenamiento de la energía generada, la cual, además de almacenar, corrige y uniformiza la energía que llega al inversor, que convierte la CD a 12V, proveniente de las baterías, a CA a 120V. De esta manera se puede utilizar directamente.

El generador eólico se encuentra sobre un poste, que se instaló sobre la azotea del edificio W, a una altura de 7 metros sobre ésta. De manera que no haya mucho “ruido” en el flujo del viento que pueda alterar de manera significativa el funcionamiento del generador.

En el esquema de las celdas fotovoltaicas, se encuentra indicado un inversor-controlador, éste hace las funciones de un inversor, dando como salida electricidad CA a 120V, pero además registra la producción del sistema. Otra función muy importante que lleva a cabo es la tomar la decisión entre permitir a la acometida de CFE o a la corriente proveniente de los paneles fotovoltaicos energizar el circuito en cuestión, o como se muestra en la figura 2.2.

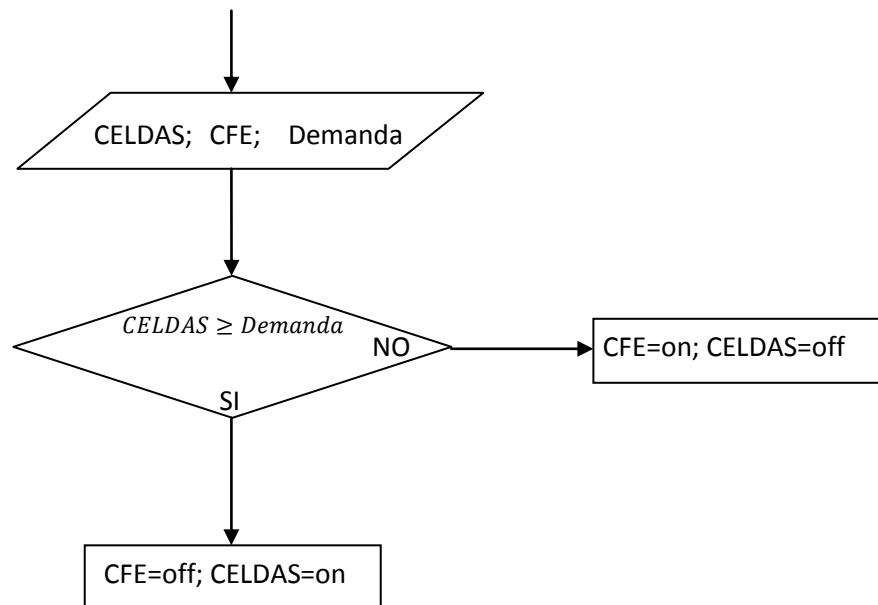


Figura 2.2 Diagrama de Decisión a tomar por el inversor – controlador

Este cambio entre las celdas y CFE pasa inadvertido para el usuario, ya que el equipo cuenta con un sistema para esto. El sistema fotovoltaico se ha evaluado como parte de un sistema paralelo con CFE, dado que su capacidad es muy inferior a la demanda, funciona

como otra fuente de energía complementaria a la red nacional, de manera que se ahorra la producción por medio de celdas solares en la cuenta de CFE.

2.2.1 Turbina eólica

La turbina eólica y el generador eléctrico de la misma se encuentran en un solo cuerpo, como se ve en la figura 2.3. Cuentan con una veleta de dirección (cola), para recolectar la mayor cantidad de viento posible, sin importar la dirección del mismo. Se encuentra instalado en isla de forma que lo que produce se almacena en un acumulador de ciclado profundo. Mediante un inversor – convertidor se obtiene en una clavija la energía almacenada en la batería en forma de CA a 120V



Figura 2.3 Aerogenerador instalado en edificio W



Figura 2.4 Aerogenerador instalado en edificio W

2.2.2 Paneles fotovoltaicos

Las 8 celdas fotovoltaicas están conectadas directamente al centro de carga del edificio de manera que alimentan de manera paralela junto a la red eléctrica a la Facultad de Ingeniería mecánica. De esta forma es posible establecer su producción mediante un controlador que mide la energía producida por los paneles fotovoltaicos.

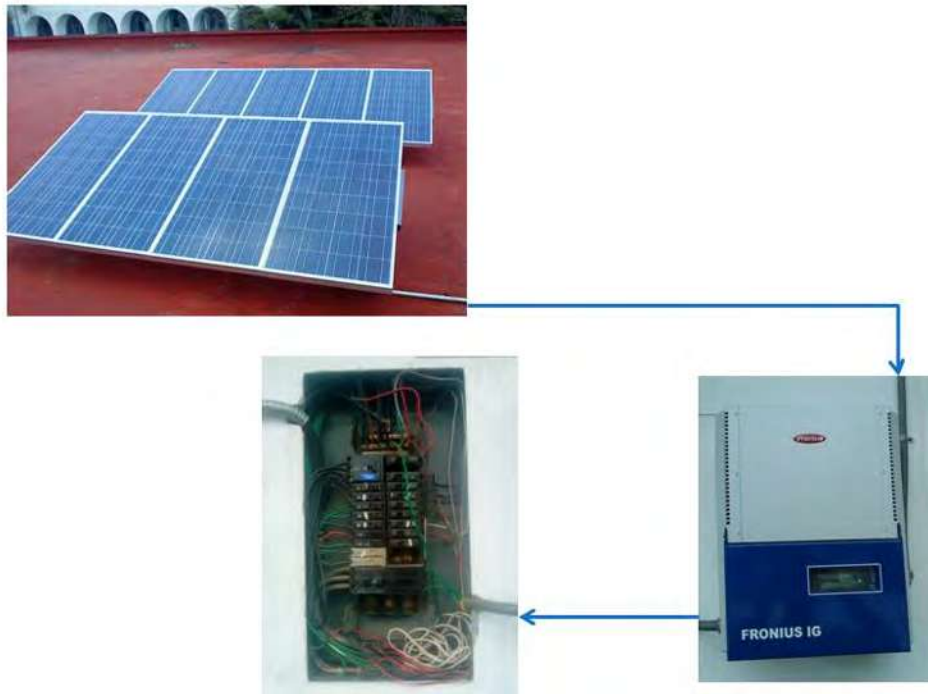


Figura 2.5 Celdas fotovoltaicas instaladas directamente al centro de carga del edificio W

2.2.3 Planta meteorológica

Es una planta meteorológica que permite determinar diferentes parámetros ambientales, se instaló en el poste de la turbina eólica para tomar los datos en las condiciones más parecidas en las que funciona la turbina eólica.



Figura 2.6 Instalación de la planta meteorológica

2.3 Consumo del edificio W

2.3.1 Instalaciones del edificio







En el edificio se tienen dos transformadores uno de 112.5 kVA's y otro de 75 kVA's. El de 112.5 kVA's alimenta todos los circuitos de consumo excepto los laboratorios de cómputo que se alimentan del de 75 kVA's.

El de 112.5 kVA's llega a dos centros de carga uno en la planta alta y otro en la planta baja, los circuitos de ambas plantas se ven en las figuras 2.7 y 2.8.

Además esta información está plasmada en las tablas 2.2 y 2.3, donde se indican los lugares alimentados y en cada caso se tiene una referencia de color dada a continuación en el siguiente cuadro (Tabla 2.1).

Es evidente que los colores del código solo aplican para las tablas 2.2 y 2.3, ya que los colores en los croquis donde se identifican los circuitos del edificio W son arbitrarios, únicamente se utiliza para diferenciarlos entre sí.

Tabla 2.1 Código de colores

Código de colores para la identificación de los circuitos del edificio W	
	Energiza solamente los contactos
	Energiza solamente la iluminación
	Energiza tanto la iluminación como los contactos
	Energiza otros equipos
	Energiza un área no identificada
	No energiza ningún área

Los circuitos que sería factible energizar por medio de energías renovables son aquellos que solo alimentan la iluminación de cierta área, de manera que son éstos los que se ven en las figuras a continuación. Las zonas resaltadas son aquellas donde los circuitos de iluminación se encuentran aislados de los circuitos de alimentación de los contactos.

Tabla 2.2 Áreas de alimentación de la planta baja

PLANTA BAJA	
No de apagador (pastilla)	Área controlada
01	W2, W3, Coordinación de Postgrado, Cubículos A de Profesores
02	W2, W3, Coordinación de Postgrado
03	No Utilizado
04	No Utilizado
05	No Utilizado
06	Baños Hombres, Baños Mujeres, W10
07	Equipo de monitoreo (Wattorímetro)
08	W6, W7
09	Cubículos A de Profesores
10	Cubículos B de Profesores
11	W8, W9
12	W4, W5, W6, W7
13	W4, W5
14	No Utilizado
15	W8, W9
16	W10, W11, W12
17	No Utilizado
18	No Utilizado
19	No Identificado
20	No Identificado
21	W11, W12, Titulación
22	No Identificado
23	No Utilizado
24	No Utilizado
25	No Utilizado
26	No Utilizado

Tabla 2.3 Áreas de alimentación de la planta alta

PLANTA ALTA	
No de pagador (pastilla)	Área controlada
01	W14, W15
02	No Utilizado
03	No Utilizado
04	No Utilizado
05	No Utilizado
06	W13, Laboratorio de Cómputo 3
07	W18, W19
08	Dirección
09	No Identificado
10	W16, W17-----C1, C2
11	Biblioteca
12	W20,W21
13	W18, W19, W20
14	No Identificado
15	Salón de Dibujo, Sala de Directores
16	W13
17	W14, W15, W16, W17
18	Biblioteca
19	No Identificado
20	W21, Sala de Directores, Salón de dibujo
21	No Identificado
22	No Utilizado
23	No Identificado
24	No Utilizado
25	No Utilizado
26	No Utilizado

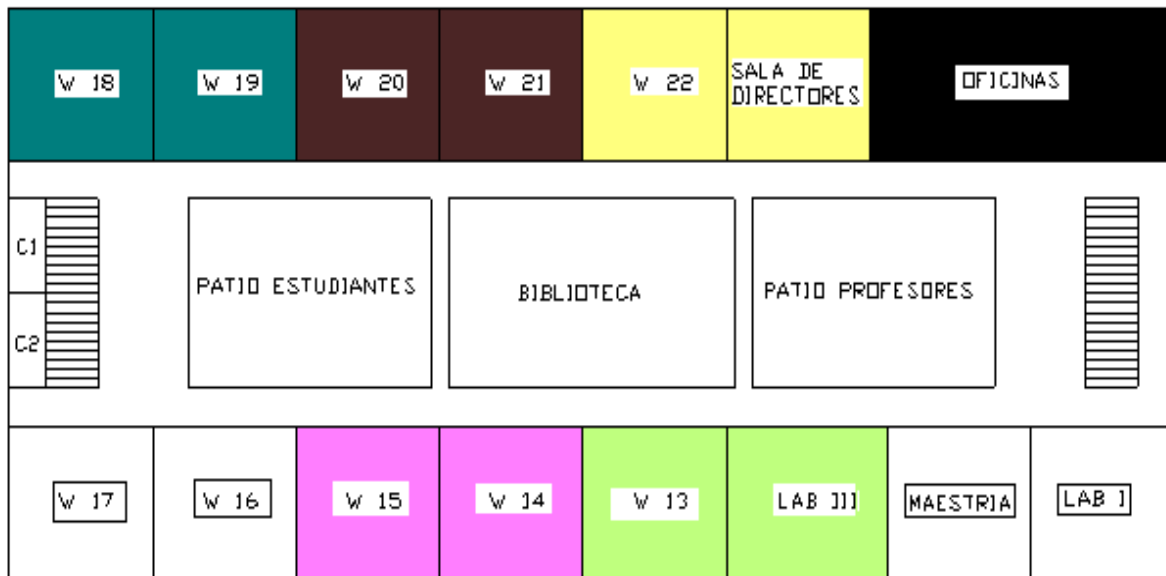


Figura 2.7 Circuitos de iluminación, áreas iluminadas. Planta alta

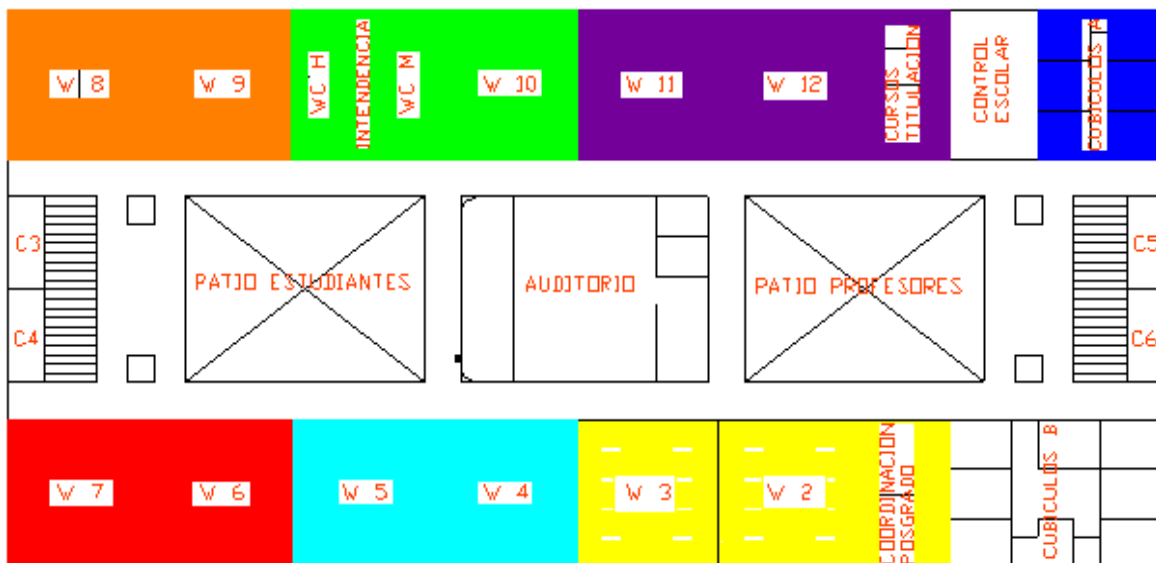


Figura 2.8 Circuitos de iluminación, áreas iluminadas. Planta baja

Además de realizar el reconocimiento de las instalaciones, es de suma importancia la determinación del consumo dentro de las mismas, de un trabajo anterior de tesis se obtuvo el consumo promedio en un lapso de que va desde el 27 de enero al 23 de febrero de 2010,

cuando todavía no habían sido instalados los equipos de generación en el inmueble, contenido a manera de resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.4 Consumo promedio (Enero – Febrero 2010)

DIA	FECHA	HORA	CONSUMO (KWh)	INCREMENTO (kWh)
M	27-Ene	19:30	21315	0
J	28-Ene	19:15	21350	35
V	29-Ene	19:40	21399	49
S	30-Ene	---	---	---
D	31-Ene	---	---	---
L	01-Feb	---	---	---
M	02-Feb	16:20	21476	77
M	03-Feb	07:15	21583	107
J	04-Feb	---	---	---
V	05-Feb	12:00	21626	43
S	06-Feb	---	---	---
D	07-Feb	---	---	---
L	08-Feb	10:00	21672	46
M	09-Feb	10:00	21708	36
M	10-Feb	---	---	---
J	11-Feb	11:00	21836	128
V	12-Feb	13:00	21870	34
S	13-Feb	---	---	---
D	14-Feb	---	---	---
L	15-Feb	11:40	22020	150
M	16-Feb	18:00	22058	38
M	17-Feb	16:30	22078	20
J	18-Feb	13:10	22100	22
V	19-Feb	19:10	22212	112
S	20-Feb	---	---	---
D	21-Feb	---	---	---
L	22-Feb	06:14	22317	105
M	23-Feb	17:05	22407	90
			PROMEDIO POR DIA *	39

Los datos de los trabajos anteriores son válidos y pueden observarse de mejor manera en las figuras 2.9 y 2.10, sin embargo es necesario realizar una nueva recopilación de datos, ya que ha habido modificaciones a las instalaciones del edificio, tales como la implementación de nuevos equipos de aire acondicionado y la reapertura de un laboratorio de cómputo destinado al posgrado de la facultad

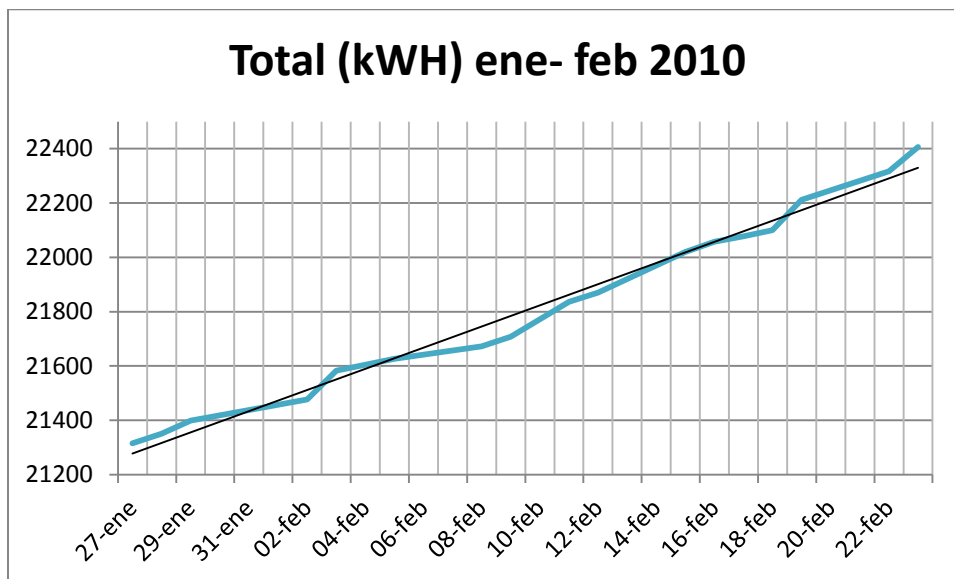


Figura 2.9 Total. Consumo Ene – Feb 2010

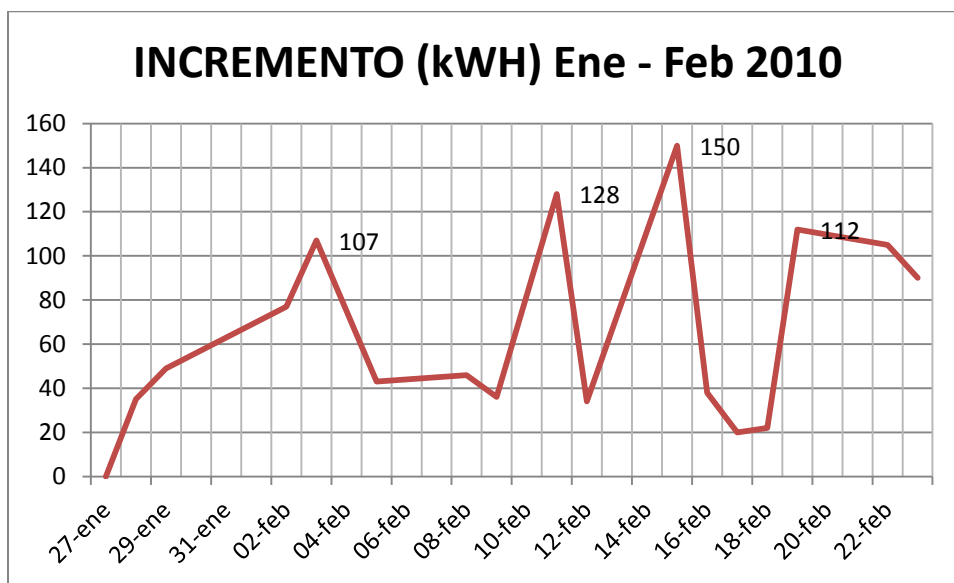


Figura 2.10 Incremento. Consumo Ene – Feb 2010

Para este proyecto se realizaron nuevas mediciones, para corroborar la información que se tenía antes, lo cual arrojó los datos contenidos en las figuras 2.11 y 2.12. De nueva cuenta se hace referencia al total medido, y al incremento diario del mismo.

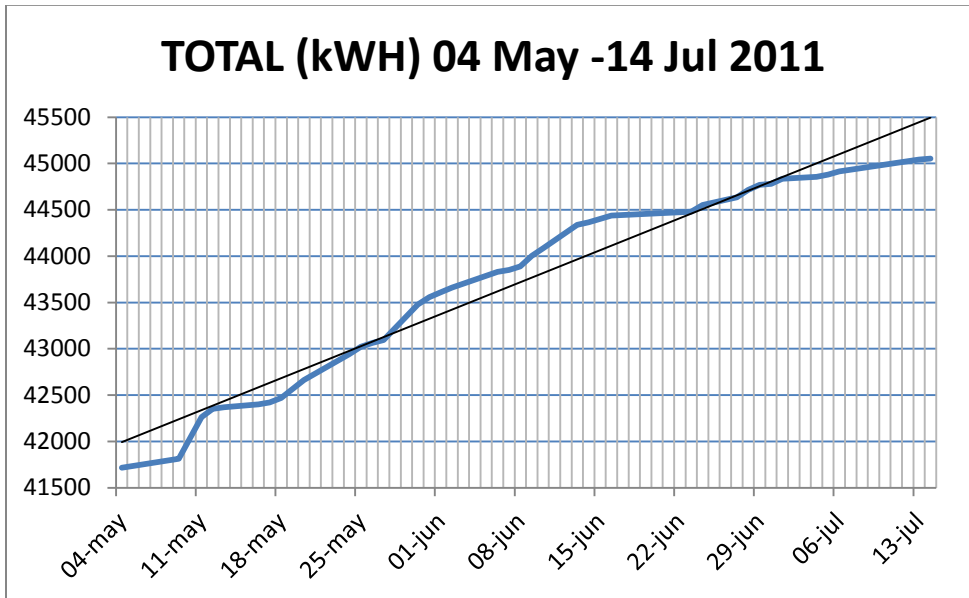


Figura 2.11 Total. Consumo May – Jul 2011

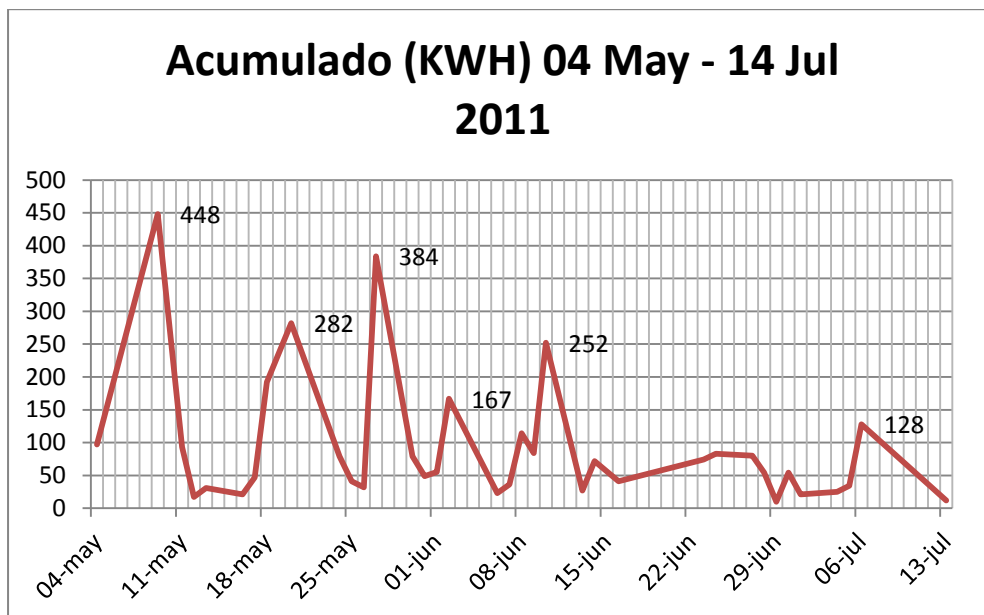


Figura 2.12 Consumo diario May – Jul 2011

De estos datos se puede comprobar que el comportamiento analizado anteriormente, muestra una variación con los nuevos resultados, esto se puede deber a diferentes factores:

las actividades extraescolares que tienen lugar en el edificio, los nuevos equipos instalados en diferentes áreas de la facultad. De la figura 2.12, el primer máximo que se observa de 448kW, es el reportado entre el 9 y el 11 de Mayo, sin embargo, los horarios de las mediciones eran altamente aleatorios, por lo que esto puede influir en la toma de datos diaria, sin embargo, otros de los máximos presentes sí indican que hay grandes consumos en días consecutivos, esto se puede presentar en momentos o circunstancias especiales, específicamente cuando se realizan trabajos de mantenimiento, o de acondicionamiento de las instalaciones existentes.

Para poder concluir esta parte del proyecto podemos concentrar los datos obtenidos en la tabla 2.5

Tabla 2.5 Comparación de diferentes parámetros entre 2010 y 2011

	Último consumo total medido	Mínimo incremento de consumo	Máximo incremento de consumo	Promedio de consumo diario
Ene-Feb 2010	22407 kWh	20 kWh	150 kWh	39 kWh
May-Jul 2011	45054 kWh	10 kWh	448 kWh	50.57 kWh

Se puede observar que el promedio de consumo diario tiene un incremento del 28.8 por ciento, cabe señalar que este promedio se realizó considerando incluso los días inhábiles. Otra aspecto muy importante a recalcar es que el consumo de mayo – julio de 2011, ya incluye el funcionamiento de los equipos fotovoltaicos, por lo que los **50.57 KWh** promedios consumidos, solo incluyen los que provienen de la red nacional, a estos es necesario adicionarles lo producido por celdas fotovoltaicas para obtener el consumo total diario registrado.

2.4 Método para el cálculo del potencial energético del sitio

Para poder definir el potencial energético de cualquier sitio, es necesario contar con datos de las mediciones, de una cantidad de tiempo considerable. Estos datos históricos son importantes para determinar el potencial de cada uno de los recursos naturales de la zona determinada, de manera general se recomienda obtener datos de varios años atrás, aunque también es posible realizar el estudio del potencial energético de un lugar con datos de seis meses.

Considerando esto, se hará una revisión de los pasos a seguir para determinar el potencial de los recursos de interés en la zona donde se encuentra el edificio de la FIM. Realizando para esto, una revisión de las metodologías [8 y 9] para la determinación de los potenciales antes mencionados.

2.4.1 Potencial solar

Como anteriormente fue expresado, se requiere contar con medidores, para poder determinar de manera adecuada los potenciales de diversos tipos de recursos naturales, la energía solar no es la excepción.

Los principales medidores de energía solar se mencionan a continuación:

- Heliógrafo: es un medidor que cuenta con una esfera de cristal de roca, la cual amplifica y concentra la luz solar que venga de cualquier dirección, con el objetivo de realizar quemaduras en un receptor de cartón o algún material inflamable, de manera que se pueda determinar la cantidad de horas del día que presentó una cantidad determinada de radiación solar



Figura 2.13 Heliógrafo. [9]

- Piranógrafo bimetalico mide la radiación global sobre el plano horizontal. Consiste en una varilla bimetalica ennegrecida sujeta por un extremo y libre por el otro, al ser iluminado absorbe la radiación y se curva como consecuencia de los diferentes coeficientes de dilatación de los metales que componen el par. Este encorvamiento genera un movimiento del extremo libre que es transmitido mecánicamente a una pluma entintada que gráfica un trazo sobre una faja de papel sujeta a un tambor.
- Piranómetro es utilizado para la medición de la radiación global y de la radiación difusa. Hay dos tipos: termoelectricos y fotovoltaicos. Los termoelectricos tienen como elemento sensible una termopila de Möll, denominándose así a un conjunto de pares termoelectricos. Los fotovoltaicos poseen como elemento sensible una oblea de silicio, en general del tipo monocristalino, que al recibir un flujo radiante genera una diferencia de potencial.

Dadas las condiciones en que se realiza este proyecto, para la determinación del potencial solar no se cuenta con medidores de ningún tipo para la radiación solar, por lo que aquí se plantea la metodología a seguir para realizar la estimación de dicho potencial.

Lo primero es obtener la **irradiación solar global diaria promedio mensual**, lo que es posible empleando la siguiente fórmula:

$$(Ec. 2.1) \quad Q_g = Q_E + \left[0.26 + 0.51 \left(\frac{S_D}{100} \right) \right]$$

Donde:

Q_E = Irradiación solar extraterrestre

S_D = Porcentaje de cielo diurno despejado

Sin embargo, para determinar los otros parámetros, de la fórmula desconocidos, es necesario realizar las siguientes operaciones. Para la irradiación extraterrestre:

$$(Ec. 2.2) \quad Q_E = 0.011627 \left[\frac{I_0}{30 R^{*2}} \right] \left[t_0 \sin \varphi \sin \delta + \left(\frac{T}{2\pi} \right) \cos \varphi \sin \left(\frac{2\pi t_0}{T} \right) \right]$$

Donde:

I_0 = Irradiación extraterrestre

R^* = Cociente entre la distancia tierra sol en ese instante sobre la distancia media.

t_0 = Mitad del intervalo de tiempo entre la salida y puesta del sol

T = Período de rotación terrestre
 d = Declinación solar
 f = Latitud del sitio

Para la determinación del porcentaje de cielo diurno despejado:

$$(Ec. 2.3) \quad \frac{S_D}{100} = 0.31 + 0.48PQ$$

Donde:

PQ = Complemento de la nubosidad media mensual

$$(Ec. 2.4) \quad PQ = \frac{x_3 + 0.5x_2}{x_1 + x_2 + x_3}$$

Donde:

x_1 = Frecuencia media mensual de días nublados (6 a 8 octas)

x_2 = Frecuencia media mensual de días parcialmente nublados (3 a 5 octas)

x_3 = Frecuencia media mensual de días despejados (menos de 3 octas)

Después se revisa la **irradiación solar difusa diaria promedio mensual** mediante la fórmula:

$$(Ec. 2.5) \quad Q_f = Q_g \left[1 + 1.16 \left(\frac{Q_g}{Q_E} \right) \right]$$

Al determinar estas cantidades, se calcula la **irradiación solar directa diaria promedio mensual**:

$$(Ec. 2.6) \quad Q_d = Q_g - Q_f$$

La cual nos otorga la radiación solar aprovechable en un determinado sitio. Para poder aplicar esta metodología es necesario conocer las condiciones locales. Las cuales están condicionadas por la radiación natural del sol, y los acontecimientos meteorológicos de la zona. En general se recomienda que los lugares donde se planea realizar una instalación de aprovechamiento solar no tengan obstáculos físicos, sin embargo esto no es siempre

posible, en dicho caso se deberá reportar dependiendo la temporada del año, cuanto obstaculizan la captación del recurso.

Para determinar la radiación solar extraterrestre se necesita una base de datos, como lo es la base de datos ERIC [10] que en nuestro caso es el IIE, que tiene un mapeo satelital de este tipo de radiación en promedio mensual, a continuación un ejemplo de dichas imágenes.

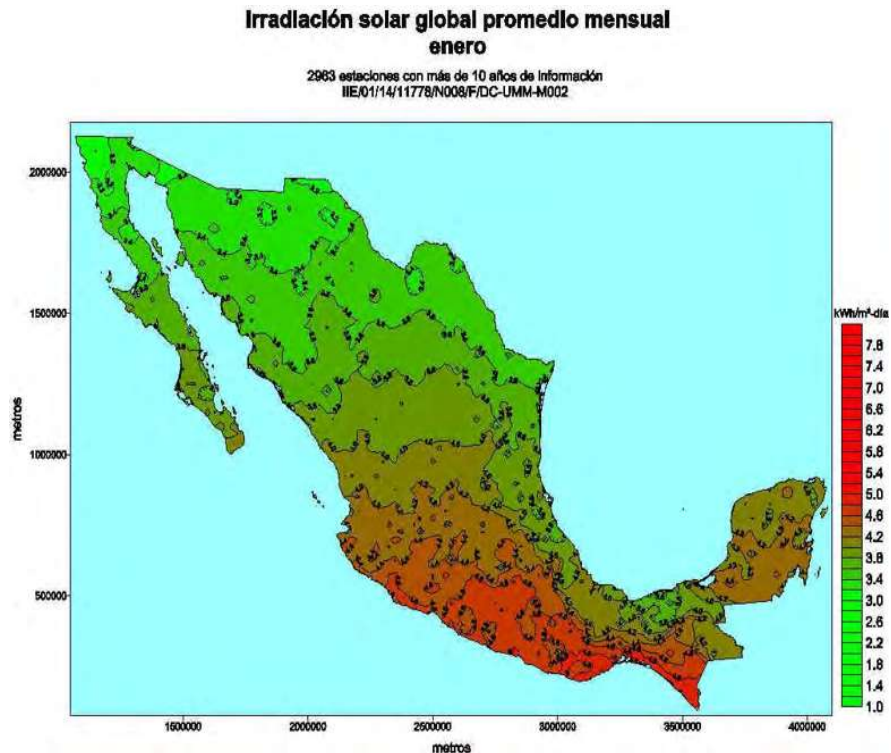


Figura 2.14 Mapa de promedio mensual de radiación solar en México, mes de Enero [10]

Así que se necesita determinar el promedio de los días nublados para calcular el potencial, que en este caso se aplicará a Morelia, Michoacán.

Otra opción es la de medir constantemente en el sitio específico la radiación solar recibida y a partir de datos reales obtener la energía solar aprovechable, para esto es necesario contar con registros tanto de radiación como de las horas de insolación, con lo cual se vuelve innecesario el registro de la nubosidad, y otros tantos.

2.4.2 Potencial eólico

Para la obtención del potencial energético proveniente del viento, se necesita de manera importante contar con las mediciones históricas, para tener referencia de la cantidad de energía con que se cuenta en el sitio. Para realizar las mediciones existen diferentes instrumentos de medición. Los más difundidos son:

- Anemómetros de copas
- Anemómetros de propelas
- Anemómetros de tubo de presión
- Anemómetros sónicos
- Anemómetro de hilo caliente

Para nuestro caso de estudio se cuenta con un anemómetro de copas y una veleta que determina la dirección del viento. Ejemplos de dichos equipos se muestran en las figuras 2.15 y 2.16.

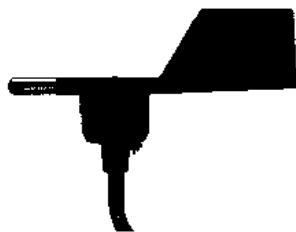


Figura 2.15 Veleta. [8]



Figura 2.16 Anemómetro de copas. Fuente [8]

Además de la determinación de las velocidades del viento, otros parámetros también tienen importancia, de los más importantes destacan:

- Rugosidad del terreno
- Corrientes predominantes (dirección)
- Obstáculos
- Condiciones generales del terreno

Estos aspectos son importantes, debido a que la metodología para la determinación del potencial eólico nos dice que existen varias etapas, dependiendo de los alcances del proyecto específico. Pero que la primera que es la de Obtención y análisis de datos es la más importante; a continuación se describe un poco ésta.

1.- Datos meteorológicos

a) Viento en superficie. Se refiere a los datos de las velocidades cercanos a la superficie, que deben entenderse como aquellos datos que se miden hasta una altura determinada, que generalmente oscila entre 10 y 30 mts por encima de los obstáculos de la zona

b) Viento en atmósfera libre. Los datos que son medidos a alturas que sobrepasan la altura de los treinta metros por encima de los obstáculos de la zona.

c) Registros horarios de viento. Este registro se refiere a la adquisición de datos, como debe de ser ésta en función del tiempo, para determinar incluso la factibilidad de corrientes a ciertas horas del día.

2.- Mapas topográficos de la zona de estudio. Los mapas topográficos auxilian a determinar la dirección, y en algunos casos los horarios en que soplará el viento en cierto sitio.

Una vez obtenidos los datos antes mencionados, se procede a realizar la determinación del potencial eólico. Primero calculando la velocidad media, la velocidad más frecuente, la cantidad de horas favorables, y otros datos importantes.

Para calcular la velocidad estacionaria:

$$(Ec. 2.7) \quad V_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i$$

Donde:

N = Número de muestras de la velocidad del viento durante un intervalo de 10 minutos (de preferencia 300).

v_i = Valores medidos de la velocidad del viento, en el intervalo de 10 minutos, con una frecuencia 0.5 Hz.

La desviación estándar es:

$$(Ec. 2.8) \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - V_e)^2}$$

La intensidad de la turbulencia es

(Ec. 2.9)
$$I_0 = \frac{\sigma_e}{V_e}$$

Para calcular la energía del viento se recurre a realizar los siguientes cálculos, considerando que el viento se mueve de manera uniforme en un volumen controlado:

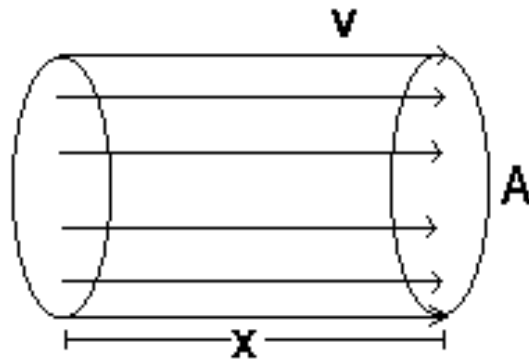


Figura 2.17 Energía del viento

Entonces:

(Ec. 2.10)
$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde:

E_c = Energía cinética

m = Masa del aire

v = Velocidad del aire

La masa:

(Ec. 2.11)
$$m = \rho V = xA\rho$$

Donde:

ρ = Densidad del aire

V = Volumen de aire

A = Área transversal

Finalmente se obtiene:

$$(Ec. 2.12) \quad E = \frac{1}{2} \rho A v^3 t$$

Para concluir esta parte se puede calcular la potencia del viento, dado que:

$$(Ec. 2.13) \quad P = \frac{E}{t}$$

Entonces:

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

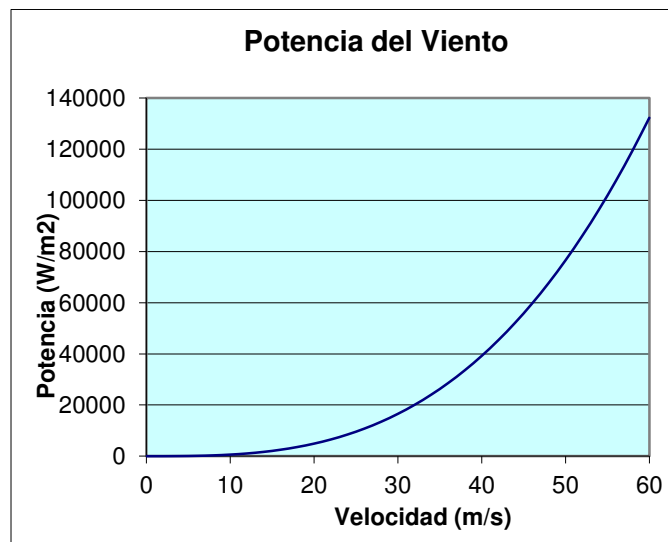


Figura 2.18 Potencia del viento

Dados estos datos, es importante definir algunas características, que dependen del sitio de medición. Por lo que se debe considerar la llamada caracterización del viento, que se encuentra enseguida.

Primeramente la velocidad promedio:

$$(Ec. 2.13) \quad \bar{V}_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{e_i}$$

Donde:

N = Número de intervalos de 10 minutos en un período T

V_{e_i} = Datos de la velocidad estacionaria en el período T

La desviación estándar:

$$(Ec. 2.14) \quad \sigma_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_{e_i} - \bar{V}_T)^2}$$

Por lo que se llega a la energía disponible:

$$(Ec. 2.15) \quad \frac{E_T}{A} = \left[\frac{1}{2} \rho_s \sum_{i=1}^N V_{e_i}^3 \right] \left(\frac{1}{6} \right)$$

Y a la densidad de potencia.

$$(Ec. 2.16) \quad \frac{\bar{P}_T}{A} = \left[\frac{1}{2} \rho_s \sum_{i=1}^N V_{e_i}^3 \right] \left(\frac{1}{N} \right)$$

Así, la energía disponible se calcula con la ecuación:

$$(Ec. 2.17) \quad \frac{E_{D,T}}{A} = T \left(\frac{\bar{P}_T}{A} \right)$$

De forma que está será la metodología que se aplicará a cualquier sitio de estudio para la determinación de su potencial eólico, es decir la energía proveniente del viento que tiene dicho lugar.

Hay que recordar que se debe aprovechar el viento “no contaminado”, es decir aquel que no tiene corrientes turbulentas, asociadas a los obstáculos del terreno. Idealmente, para los grandes desarrollos se orientan los generadores según el viento dominante, esto es, en la dirección en que sopla más frecuentemente el viento, y a la suficiente altura para aprovechar al máximo su capacidad de generación eléctrica y evitar la turbulencia ocasionada por los obstáculos del terreno. Sin embargo en los casos en que la instalación se desee realizar en un sitio donde haya un lugar con grandes obstáculos se deben proyectar generadores de baja capacidad, que permitan la reorientación, para de esta manera aprovechar la mayor cantidad de energía disponible.

Para este tipo de terrenos es importante determinar, según el diagrama de flujo de la figura 2.19 su rugosidad de terreno:

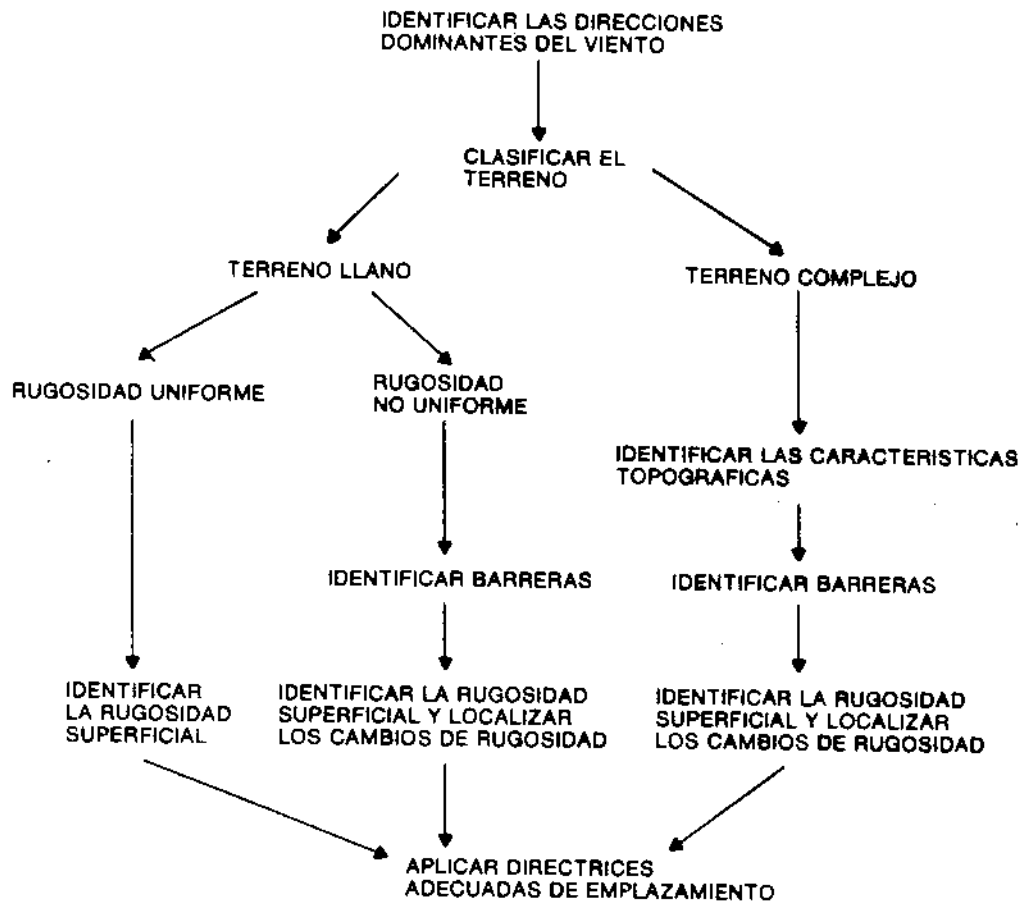


Figura 2.19 Diagrama de flujo para determinar la implementación de aerogeneradores

Además de tomar en cuenta esta metodología se requiere tener en cuenta la escala de rugosidad que se muestra en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Rugosidades de terreno. IIE

Tipo de Terreno	Z0 (mm)
Mar abierto en calma	0.20
Mar picado	0.50
Superficie de nieve	3.00
Césped	8.00
Pasto quebrado	10.00
Campo preparado para cultivo	30.00
Cultivo	50.00
Pocos árboles	100.00
Varios árboles, hileras de árboles, pocas construcciones	250.00
Bosques, tierras cubiertas con árboles	500.00
Suburbios	1500.00
Centros de ciudades con edificios altos	3000.00

Para el sitio se debe considerar que las condiciones en que se encuentra el edificio W no permitirían un desarrollo eólico si no se eleva por lo menos la colocación de las turbinas eólicas 3 metros arriba del obstáculo más cercano.

CAPÍTULO 3. Energía disponible en el sitio

3.1 Introducción

Las condiciones climáticas estacionales toman un valor muy importante para la implementación de equipos híbridos con energías renovables, generalmente se entiende que la energía solar y la energía eólica se compensan [11]. Esto quiere decir, que en cierta medida, cuando existe una ausencia de energía solar (invierno), es posible que la presencia de corrientes de viento aprovechables sea mayor y, de esta manera, sirve como complemento una de la otra.

La energía disponible debe entenderse como un término que indica la cantidad de energía que existe en un sitio en particular, considerando los diversos tipos de energía que existan en tal lugar. Para el caso de estudio aquí planteado, se refiere a las fuentes solar y eólica de CU.

Para poder realizar el cálculo de la energía disponible, se debe referir a la metodología presentada en páginas anteriores. Sin embargo aquí se presentan los datos necesarios sobre las velocidades del viento para la determinación de la energía eólica [8] y de la potencia de radiación solar para el cálculo de la energía solar [10].

Para poder determinar un potencial energético de CU para un sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico. Se puede determinar a partir del análisis en este capítulo la potencia del viento y de la radiación solar en kW, considerando diversos factores referentes a los equipos instalados para la producción de energía eléctrica.

3.2 El viento en CU

Las condiciones de la ciudad de Morelia son muy diversas de un punto a otro. Las mediciones realizadas en la ubicación propuesta para la instalación de equipos para el aprovechamiento de la energía eólica y solar fotovoltaica deben de considerarse validos para ese punto específico.

En el caso de la velocidad del viento se tomaron los datos que se muestran en la figura 3.1

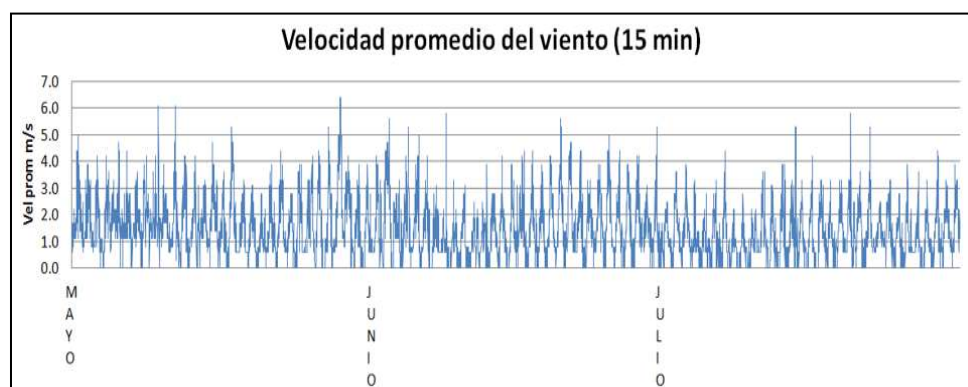


Figura 3.1 Velocidad del viento cada 15 minutos

De esta gráfica podemos concluir que las velocidades del viento se concentran en gran medida entre 0 y 3 m/s, sin embargo un conteo para determinar el tiempo en que ocurre cada velocidad de viento es necesario, para poder obtener su energía total en la zona correspondiente en el periodo evaluado. En la columna 7 “Total de horas” de la tabla 3.1 se puede ver el tiempo en horas que se registró cada una de las velocidades de viento. En dicha tabla se presentan las velocidades de viento tomadas cada quince minutos (los datos quinceminutales toman datos durante quince minutos y después se obtiene un promedio el cual se presenta como un solo dato en la gráfica de la figura 3.1). La columna 6 “Datos de medición” muestra la cantidad de datos registrados en este periodo trimestral.

Tabla 3.1 Resumen energía eólica periodo Mayo - Julio

Velocidades de viento	Potencia por unidad de área	Potencia max del viento	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Datos de medición	Total de horas	Energía máxima total del viento
m/s	W/m ²	W	--	%	--	hr	KW-h-total
<1	0.61	0.69	0.383	38.3	3383	845.75	--
1 a 2	2.07	2.34	0.758	37.5	3312	828	--
2 a 3	9.57	10.82	0.912	15.4	1360	340	--
3 a 4	26.26	29.70	0.983	7.1	627	156.75	4.66
4 a 5	55.81	63.12	0.995	1.2	106	26.5	1.67
5 a 6	101.90	115.25	0.999	0.4	35	8.75	1.01
>6	145.98	165.10	1	0.1	9	2.25	0.37
TOTALES				100	8832	2208	7.71

El comportamiento del viento en este periodo, y en general en el sitio, muestra una irregularidad bastante evidente. Además de este factor, se debe recordar que la mayoría de las turbinas eólicas y aerogeneradores comienzan la producción de electricidad cuando la velocidad del viento alcanza los 4 m/s [ref], no obstante, la turbina instalada en el edificio W arranca a los 3.5 m/s, por lo que las velocidades registradas por encima de ésta serán las que proporcionen energía eléctrica después de la transformación en el generador eléctrico. En la columna 9 “Energía Máxima total” se ve la energía total del viento para una turbina con un diámetro de 1.2 m.

Para, finalmente, determinar la cantidad de energía máxima que se logra obtener de una turbina eólica existe otro factor a considerar. Este es que dichas turbinas cumplen con una curva de funcionamiento que limita el cálculo de la energía disponible, será entonces diferente la “energía disponible” de la “energía aprovechable”, siendo la segunda la que se obtenga del cálculo en función de la capacidad nominal y la curva de funcionamiento [ref] que, en general, se comporta como se muestra en la figura 3.2

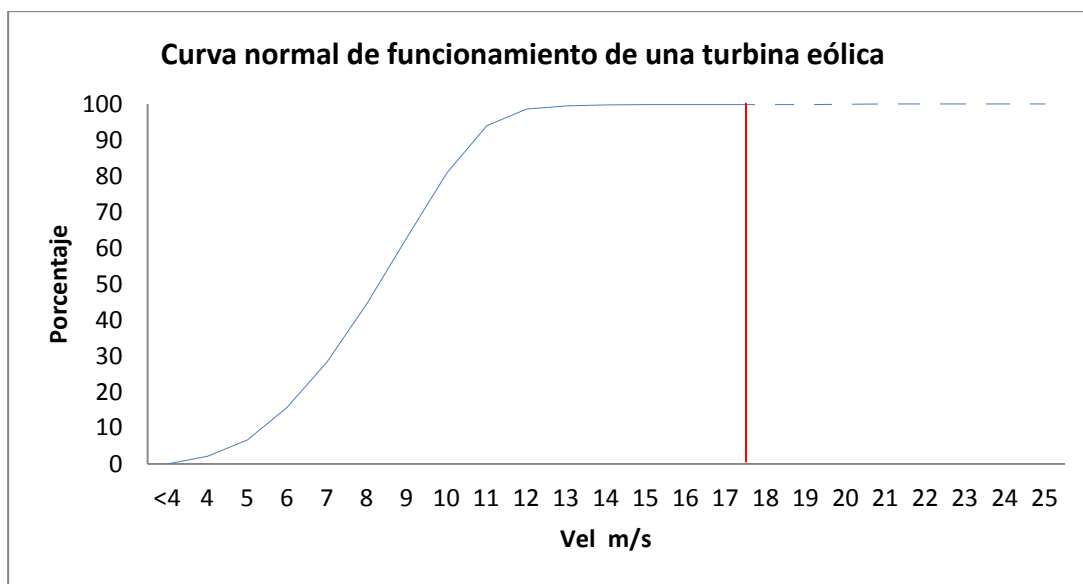


Figura 3.2 Curva normal de funcionamiento de una turbina eólica

Los aerogeneradores proporcionan de esta manera una producción que depende de su capacidad nominal, por lo que se puede definir que para cada velocidad de viento se tiene un porcentaje de producción respecto a la nominal, y que este resultado al ser multiplicado por la cantidad de tiempo en que se presente la misma, nos indica la potencia que se puede producir en el periodo de interés, ya sea diario, mensual, anual, etc.

Se tiene entonces los resultados concentrados en la tabla 3.2, que bien podría considerarse una continuación de la tabla 3.1.

Tabla 3.2 Producción de la turbina eólica

Velocidades de viento	Porcentaje de aprovechamiento	Producción esperada	Producción máxima total
m/s	%	W	KW-h-total
<1	0.00	0.00	0.00
1 a 2	0.00	0.00	0.00
2 a 3	0.00	0.00	0.00
3 a 4	2.07	8.28	1.30
4 a 5	6.64	26.56	0.70
5 a 6	15.65	62.60	0.55
>6	28.31	113.24	0.25
TOTALES			2.80

Se puede ver que, según la curva de funcionamiento de la turbina eólica, en el periodo Mayo - Julio la máxima cantidad de energía que se podría obtener es de 2.80 KW-h, que es muy distinta del estimado anterior, que es la potencia mecánica del viento de 7.7 KW-h-trimestre. Se puede definir de esta manera en un gráfico el aproximado del comportamiento esperado de la turbina eólica, que se muestra en a figura 3.3

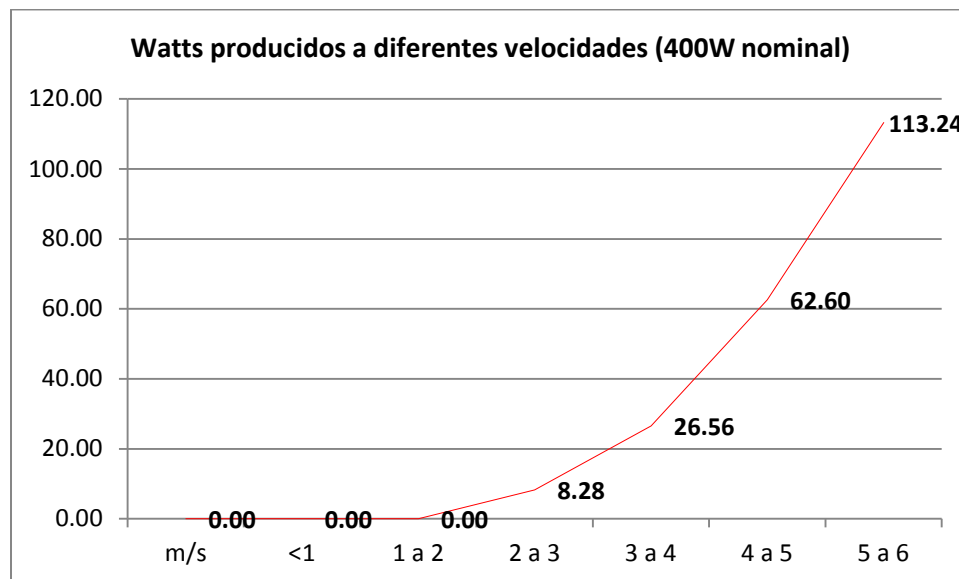


Figura 3.3 Comportamiento de la turbina eólica

Es sumamente importante recalcar que, si bien la máxima cantidad de energía que genera la energía eólica es de 2.8 kW-h para todo el periodo (92 días), ésta es complemento de la solar fotovoltaica que se analizará más adelante.

3.3 El sol en CU

La cantidad de energía disponible del sol se obtiene a través de la medición constante de la radiación solar, en nuestro caso de estudio se obtuvo la radiación media por unidad de área en KJ/m^2 , esto debido a que la información del sistema de medición (la estación meteorológica de Morelia) se presenta de esa manera, como se puede observar en la tabla 3.3 en la cuarta columna. Posteriormente se obtuvo el equivalente en W/m^2 que es la potencia de la radiación solar por unidad de área [ref]. Todo lo anterior se hizo con la referencia de que los datos obtenidos son promediados cada 5 minutos y se obtiene un total para cada día del periodo mencionado anteriormente, esto puede observarse en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Resumen de la radiación solar 15 días de Mayo*

INSOLACION			RADIACIÓN Media	Potencia solar por unidad de área	Energía Solar por hora por unidad de área	Energía máxima de los equipos	Energía aprovechable máxima
HRS.	MIN.	HRS	(5 min) KJ/m2	(KJ/m2)*1000 / 300s W/m2	(W/m2)*12 W-h/m2	(W-h/m2)* 14m2/1000 KWh	KWh* insolación KWh-día
10	4	10.07	1.93	6.43	77.2000	1.0808	10.8801
10	22	10.37	2.04	6.80	81.6000	1.1424	11.8429
8	27	8.45	1.72	5.73	68.8000	0.9632	8.1390
9	30	9.50	1.61	5.37	64.4000	0.9016	8.5652
8	46	8.77	1.79	5.97	71.6000	1.0024	8.7877
7	24	7.40	1.54	5.13	61.6000	0.8624	6.3818
5	51	5.85	1.54	5.13	61.6000	0.8624	5.0450
9	4	9.07	1.90	6.33	76.0000	1.0640	9.6469
6	55	6.92	1.44	4.80	57.6000	0.8064	5.5776
10	26	10.43	1.81	6.03	72.4000	1.0136	10.5752
8	46	8.77	1.81	6.03	72.4000	1.0136	8.8859
10	25	10.42	1.72	5.73	68.8000	0.9632	10.0333
10	12	10.20	1.82	6.07	72.8000	1.0192	10.3958
6	13	6.22	1.55	5.17	62.0000	0.8680	5.3961
8	18	8.30	1.69	5.63	67.6000	0.9464	7.8551
8	19	8.32	1.69	5.63	67.6000	0.9464	7.8709

*La tabla completa se encuentra en los anexos

Como la potencia es la recibida durante 5 minutos, se multiplica por 12 para obtener la potencia en W-h/m² lo que ya es bastante significativo, columna 6 de la tabla 3.3. Como resulta evidente este valor es el más importante en cuanto a las condiciones ambientales, a continuación se consideran las características de los equipos instalados para obtener la cantidad de energía suministrada a dichos equipos, el dato más importante en este caso es el área de captación, porque esto nos arroja los resultados de la columna 7 de la tabla anterior, así como la gráfica de la figura 3.4.

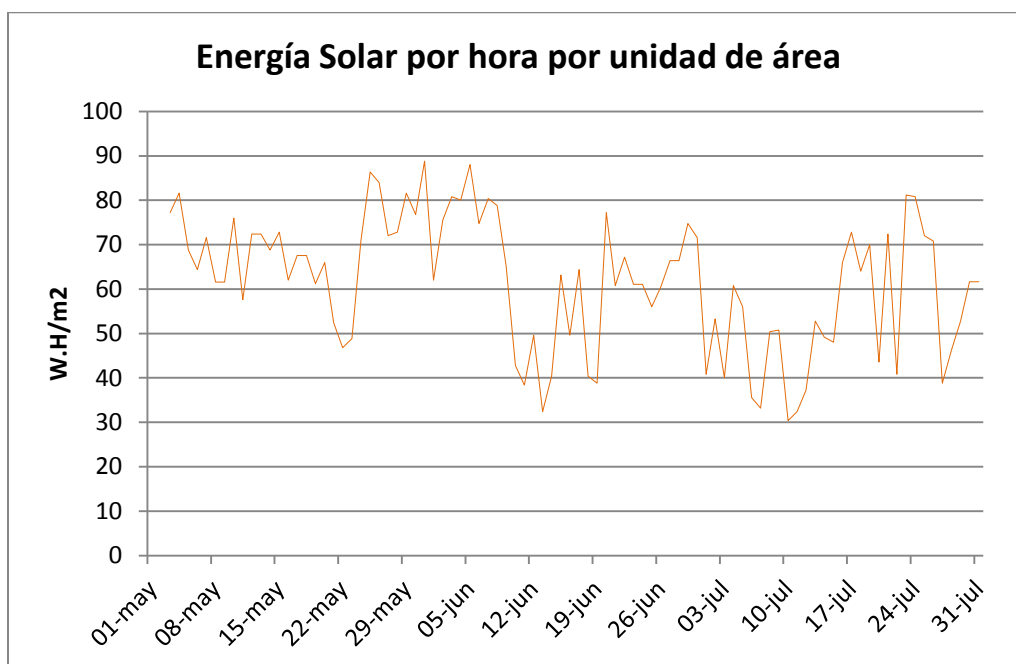


Figura 3.4 Gráfica de la potencia solar por unidad de área periodo Mayo- Julio

Como se puede observar en la gráfica, la potencia de la radiación solar por unidad de área tiene un comportamiento hasta cierto punto regular en el periodo evaluado. Ésta es la potencia media que se presentó cada día, es decir que no se tiene en cuenta la insolación, que se puede observar en las primeras tres columnas de la tabla 3.3. Esto es importante, porque cada día tiene diferente tiempo de insolación, para obtener el total de la energía aprovechable se debe tener en cuenta la superficie de captación y la insolación para obtener los resultados que se tienen en la última columna de la tabla anteriormente nombrada, o para una mejor referencia, en la figura 3.5 se tiene una gráfica con los resultados de todo el trimestre evaluado.

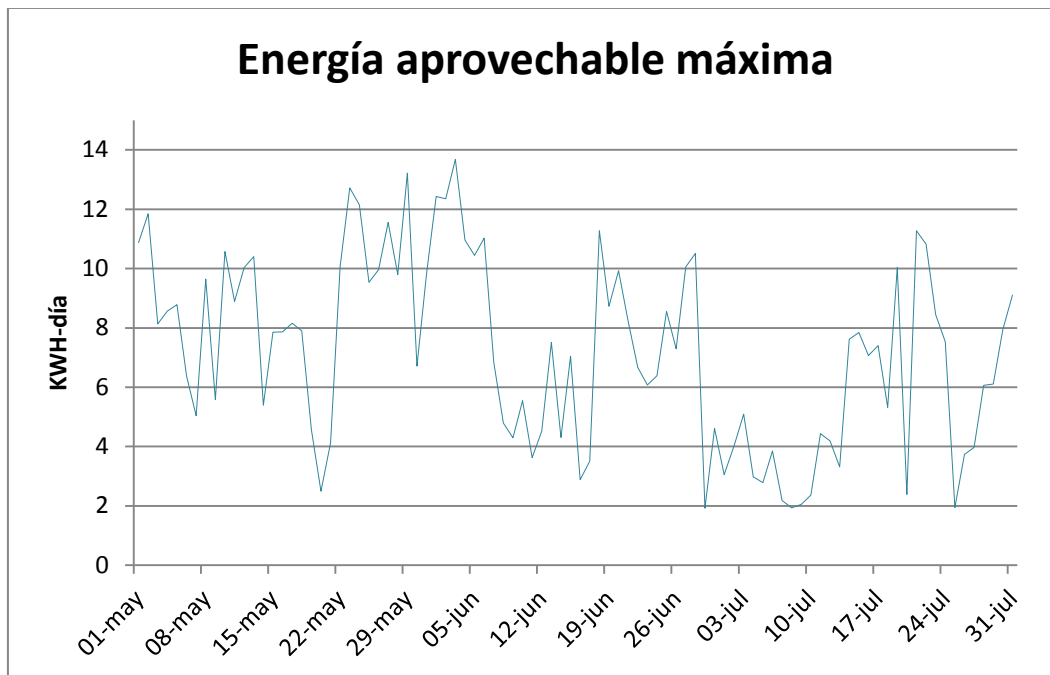


Figura 3.5 Gráfica de la potencia aprovechable máxima periodo Mayo – Julio

En esta última gráfica se pueden observar el total aprovechable máximo para un área de captación de 14 m^2 . Así mismo, es posible ver que hay días en que se tiene energía presente en la zona de cerca de 14 KWH diarios, y otros menores a 4 KWH diarios, esto se debe a las variaciones de insolación y a la radiación media, que se presenta en cada situación, dado que el periodo es verano, y que la radiación solar es la máxima presente en el año, las diferencias tan grandes en insolación y en potencia de radiación solar se debe a la nubosidad presente en cada caso, ya que en Morelia no existen otros fenómenos climáticos que puedan afectar dichas mediciones.

Es posible encontrar con la tabla 3.2 anteriormente mostrada un total a lo largo del periodo Mayo – Julio de 661.06 KWH [anexo A2], que es el total aprovechable máximo acumulado.

Así mismo, hay un valor promedio diario, para este periodo de tiempo, de 7.1914 KWh diarios que debe considerarse de vital importancia para cálculos posteriores.

3.4 Potencial de un equipo híbrido

El equipo híbrido considerado tiene como equipos para la generación de energía eléctrica una turbina eólica y un conjunto de paneles solares con características como lo muestra la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Parámetros de los equipos instalados

Celdas fotovoltaicas		Eólica	
Área de celda	1.75 m ²	Longitud de pala	0.8 m
Área total	14 m ²	Área de captación	1.6 m
Producción por celda	140 (Máx) W/hr	Velocidad de arranque	3.5 m/s
Producción total	1120 W/hr	Producción	560 W a 12 m/s
Eficiencia zona	90%	Eficiencia zona	Menos de 10%

Los datos más importantes para definir la energía aprovechable máxima del sitio estudiado son el área de captación para los fotovoltaicos y la curva de funcionamiento y el diámetro del rotor para la turbina eólica. Se puede fácilmente determinar una producción para un equipo híbrido que al producir energía eléctrica alimente un conjunto de acumuladores, para después utilizarla. El concepto se puede definir como:

$$(Ec. 3.1) \quad E_s + E_e = E_t$$

Donde la E_s es la energía solar y E_e es la energía eólica, esto es para cada instante, y se entiende que a lo largo de un periodo la energía total en el sitio se puede calcular con una sumatoria de todos los datos de la energía disponible:

(Ec. 3.2)
$$E_T = \sum_{n=1}^{n=m} (E_{s_n} + E_{e_n})$$

Este resultado desembocará en un acumulado total, que permitirá obtener después datos significativos pero sin la descripción del comportamiento a lo largo del tiempo. Por ejemplo se puede decir que en el periodo observado hubo un total de energía disponible como se muestra en la figura 3.6. Donde se adicionaron las gráficas correspondientes a los datos de potencia del viento y potencia del sol en W-h/m² diarios.

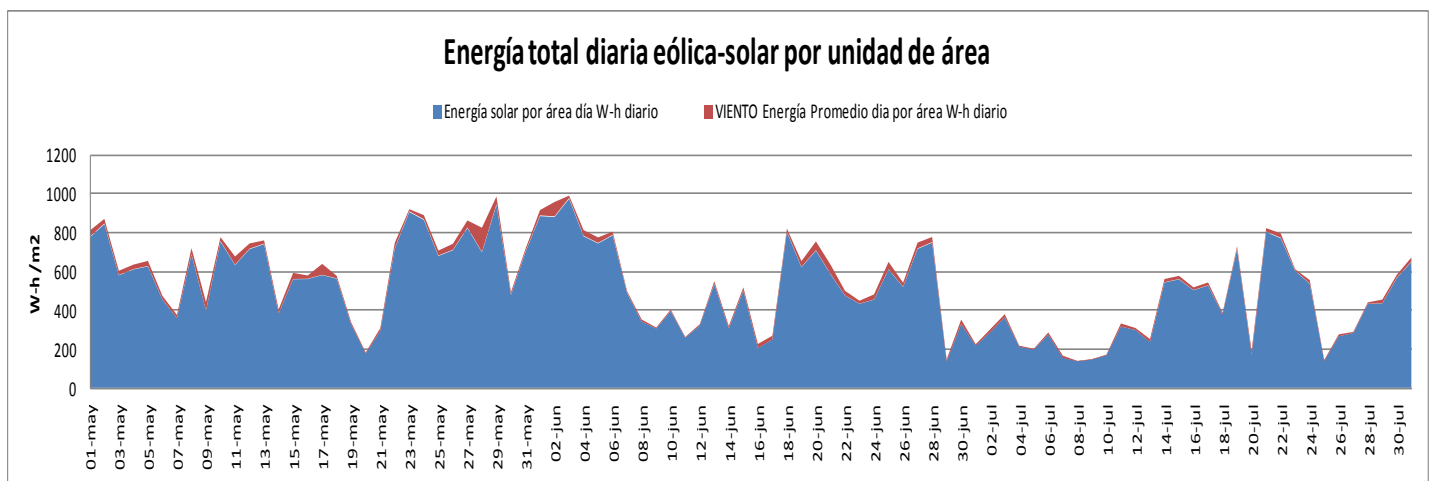


Figura 3.6 Energía disponible para CU, potencia del viento- radiación solar Mayo – Julio 2011

Se puede observar en la figura como la energía eólica (área roja) adiciona un valor pequeño en comparación de la energía solar disponible (área azul), en este periodo

CAPÍTULO 4. Evaluación de los equipos instalados

4.1 Introducción

La evaluación de los equipos instalados depende de las condiciones climáticas (energía disponible) en el sitio y del desempeño mismo de los aparatos en cuestión.

El análisis de estos dos factores desemboca en un número adimensional que se puede entender como la eficiencia global de transformación de energía en la zona.

Es decir, corresponderá este análisis a la relación entre la energía disponible y la energía eléctrica producida, que es diferente para cada tipo de energía alterna, debido a las condiciones de generación y a los principios de funcionamiento para cada tecnología escogida.

4.2 Evaluación de fotovoltaicos.

Como dice en su obra Vigil et al. *“La eficiencia de la conversión o simplemente eficiencia (η) se define como la razón de la potencia eléctrica que suministra la celda entre la potencia de la radiación solar que ella absorbe.”* [ref], las celdas fotovoltaicas pueden convertir solo una parte de la radiación que reciben en energía eléctrica, en general la eficiencia de equipos fotovoltaicos es baja, siendo la máxima eficiencia en celdas de este tipo cercana al 15 %.

En nuestro estudio ocurrió que los datos registrados de radiación solar son un cúmulo de cifras después promediadas, para determinar las medias diarias, y es de esta forma como se presentó la información de la potencia de radiación solar, por lo que los resultados de la razón entre energía producida y energía recibida indican la eficiencia media diaria de conversión:

$$(Ec. 4.1) \quad \eta = \frac{\text{Pot. Eléctrica Prod.}}{\text{Pot. Radiación Recibida}}$$

La evaluación de los equipos fotovoltaicos es posible dado que se encuentran en constante funcionamiento, es decir que toda la energía que generan es consumida por el edificio, de forma que se registra cuanta energía eléctrica están suministrando en todo momento, así mismo tienen un medidor que registra la máxima producida, la producción y las emisiones de CO₂ ahorradas, todo esto de manera diaria como de manera “histórica”.

4.2.1 Producción fotovoltaica

Para evaluar las celdas fotovoltaicas se hizo uso de las funciones que el equipo trae consigo para la medición de la producción diaria, que se recopiló diariamente, así como la del total producido. El equipo citado es un controlador – inversor IG2000Fronius® del cual se tiene la ficha técnica en los anexos, y se puede ver en la figura 4.1.



Figura 4.1 Controlador – inversor IG2000 Fronius®

En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 se tienen los datos adquiridos de los equipos de medición que acompañan la instalación de las celdas fotovoltaicas del edificio W.

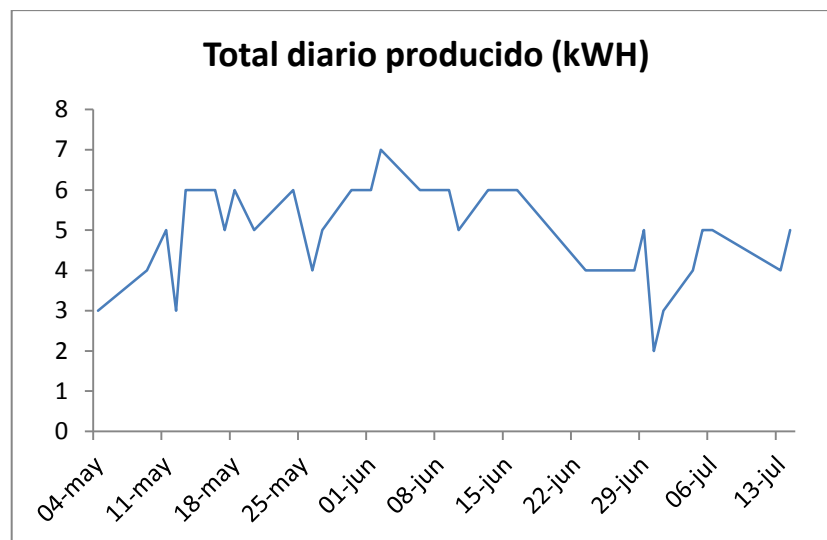


Figura 4.2 Total diario producido. Celdas Fotovoltaicas Mayo – Julio 2011

En la figura 4.2 y 4.3 se observa la producción de los equipos fotovoltaicos, ésta es la energía que se produce y se alimenta a la red interna del edificio W.

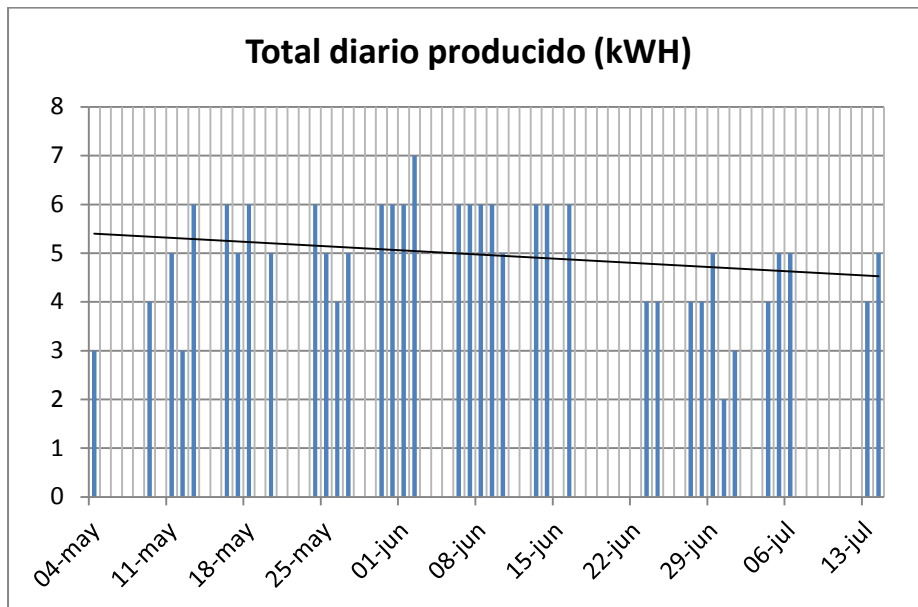


Figura 4.3. Total diario producido. Celdas Fotovoltaicas Mayo – Julio 2011

En la figura 4.4 se observan las potencias diarias máximas producidas en el periodo de estudio, y se puede observar que generalmente se alcanzan valores superiores a los 800 W y en ocasiones valores superiores a 1300 W.

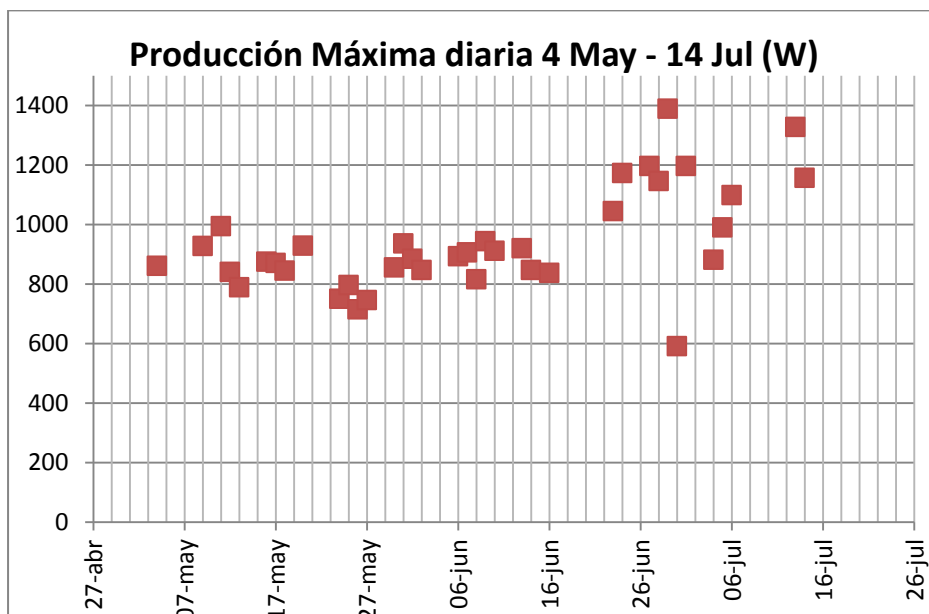


Figura 4.4 Máximo producido. Celdas Fotovoltaicas Mayo – Julio 2011

En la siguiente tabla se puede observar de mejor manera los datos más importantes de estas gráficas

Tabla 4.1 Celdas Fotovoltaicas. Parámetros obtenidos

Último dato del Total Producido	Máximo instantáneo producido en el periodo	Máximo dato del Producido Diario	Promedio del producido diario	Ahorro totalde CO ₂
1774 kWh	1388 W	7 kWh	4.97kWh	2306 Lb

Se puede concluir que si se tiene una producción promedio de 4.97 kWh de las celdas fotovoltaicas, como en el periodo, considerando como consumo promedio el de 50.57 kWh de la segunda medición que es la más reciente y, por lo tanto, la que representa de mejor manera la situación actual de la FIM, únicamente con las Celdas Fotovoltaicas instaladas se ahorra cerca de un 10 % del consumo del edificio W, sin éstas el consumo diario sería 4.97 kWh mayor al que se registró en este periodo.

Para una rápida evaluación de las celdas fotovoltaicas se puede definir la ecuación ya mencionada en previas páginas de la energía disponible contra la energía entregada por el sistema, de la última no hay duda que es la que se registra en el sistema de control que acompaña a los equipos de generación fotovoltaica, de la primera, es necesario responder la pregunta, ¿Cuánta energía hay?

En el capítulo 3 se definió que hay energía disponible en el sitio, que se entiende como la radiación solar incidente, sin embargo, después se identificó una energía máxima aprovechable del sitio que correspondía a la energía recibida por los equipos fotovoltaicos. Ahora sí que queda claro que es entonces la energía máxima aprovechable la que se debe considerar para el cálculo de la eficiencia de las fotoceldas.

$$(Ec. 4.2) \quad \eta = \frac{\text{Producción}}{\text{Energía disponible}} = \frac{4.97 \text{ kWh}}{7.1914 \text{ kWh}} = 0.6911$$

Es importante concluir que si bien el resultado obtenido casi llega al 70% de eficiencia, se está comparando mediciones realizadas en el sitio promediadas, donde la energía máxima aprovechable se obtuvo a partir de medias registradas diariamente, y que la insolación también influye bastante en los resultados obtenidos, es decir que si un día se registra una insolación de 10.07 hrs, se refiere a las horas del día que tienen suficiente radiación para detectarla, y una potencia de radiación solar 6.42 W/m² para cada 5 min y dado que son 12 resultados como éste en una hora la potencia de radiación solar por hora por unidad de área será de 77.2 W-h/m², así la máxima energía aprovechable depende de la insolación de ese día y del área de captación de los equipos fotovoltaicos. Por lo que el 69.11 % de eficiencia de las celdas solares no se refiere a la capacidad de cada celda para obtener energía

eléctrica, ya que dicha eficiencia no puede ser muy superior al 15%, pero se trata del sistema completo de fotovoltaicos en referencia a la energía aprovechable de la zona.

4.3 Evaluación turbina eólica

La turbina eólica presentó varios problemas para medir su producción. La instalación aislada de la misma permitiría revisar el tiempo de carga de la batería a la que está conectada, sin embargo la capacidad de la turbina eólica para realizar la carga de la batería resulta inadecuada para una medición diaria o incluso semanal constante. Dado este contratiempo y que la energía eólica del sitio no es muy abundante se debió optar por suponer un comportamiento muy similar a la curva de funcionamiento de manera que la producción obtenida pudiera equipararse a la que se obtiene mediante la curva nominal de funcionamiento.

De igual forma que con las celdas fotovoltaicas, la eficiencia de las turbinas eólicas debe quedar en función de lo que producen y en función de la energía disponible en el sitio, de manera que podemos obtener una eficiencia de conversión mediante:

$$(Ec. 4.3) \quad \eta = \frac{\text{Energía eléctrica producida}}{\text{Energía del viento}}$$

Así la turbina eólica para todo el periodo puede considerarse que tuvo una eficiencia de conversión de energía eólica a energía eléctrica de:

$$(Ec. 4.4) \quad \eta = \frac{2.2 \text{ KWh}}{7.71 \text{ KWh}} = 0.2853$$

Esta evaluación puede considerarse parcial, aunque sí es válida dado que para el periodo citado de 92 días, esa sería una producción de la turbina eólica. Además de la producción debe considerarse que al momento de almacenar la energía en acumuladores se debe considerar un factor de pérdida por la conversión de la energía DC a AC y el mismo almacenaje. En los métodos tradicionales se opta por un factor de 1.2 [11]

4.4 Eficiencia de un sistema híbrido

Para poder evaluar un sistema híbrido se debe considerar el cúmulo de las energías en total y la capacidad de conversión de todo el sistema, de manera similar a la evaluación de los equipos por separado pero integrando los diferentes sistemas, por lo que se puede concebir una obtención de la eficiencia global del sistema híbrido eólico – solar fotovoltaico.

La forma más rápida de conseguir esto sería revisar los totales del periodo para definir la eficiencia de estos equipos como un sistema integrado:

$$(Ec. 4.5) \quad \eta_t = \frac{\text{energía producida por los equipos}}{\text{energía disponible en el sitio}} = \frac{E_{sp} + E_{ep}}{E_{sd} + E_{ed}}$$

Donde podemos ver que la energía disponible del sitio es la energía solar y la energía eólica, así como la energía producida por los equipos involucrados en la generación eléctrica, siendo de esta manera la eficiencia global de estos equipos en un sistema híbrido el resultado de la operación:

$$(Ec. 4.6) \quad \eta_t = \frac{457.24 + 2.2}{661.06 + 7.71} = 0.6869$$

Puede considerarse también que si hay eficiencias de cada uno de los equipos podemos realizar la siguiente comparativa:

Tabla 4.2 Comparativa de las eficiencias de conversión

Tipo de energía	KWH en el periodo	Eficiencia de conversión	Producción en KWH
Solar	661.06	0.6911	456.86
Eólica	7.71	0.2853	2.20
TOTALES	668.77		459.06

Dando como eficiencia global **0.6864** la cual no dista mucho de la obtenida en la ecuación 4.6. La razón recae en la poca capacidad de producción de energía eólica en el periodo, dado que no es tan significativa porque la energía solar presente permite una producción energética de 456 KWh en este periodo trimestral, mientras que la producción eólica solo es de 2.2 KWh en todo el periodo, para un sistema de mayor capacidad nominal, el resultado sería más significativo.

Para considerar un sistema híbrido es necesario definir si se piensa en un sistema autónomo o un sistema en conjunto con la red nacional de energía eléctrica, en el primer caso se debe considerar que los sistemas autónomos deben tener un sistema de almacenaje de la energía, generalmente conformado por baterías de ciclo profundo, y en ese caso es necesario un inversor para modificar la DC a AC, y generalmente esto ocasiona una pérdida. Lo cual reducirá la eficiencia del sistema completo.

CAPÍTULO 5. Propuesta

5.1 Propuesta técnica

Se debe considerar que se tiene un sistema dependiente de la energía solar y de la energía eólica que existe en el sitio, recordando el diagrama de instalación de los equipos instalados que se tiene en la figura 1.1 (1er capítulo). Dicho esquema de instalación propone dos diferentes sistemas: un fotovoltaico interconectado a la red y un eólico en isla, la propuesta que se tiene pensado hacer es un sistema híbrido interconectado, aunque se tiene también idealizado un sistema independiente y autónomo.

5.1.1 Propuesta de un sistema autónomo

Un sistema híbrido dependiente de las condiciones climáticas, pero independiente de la red principal de energía eléctrica, generalmente se diseña con un cierto grado de autonomía. Principalmente cuando se propone un proyecto de este tipo, se realiza para lugares aislados, donde la red nacional de electricidad no da servicio, donde, además, la demanda no es muy alta.

La capacidad de un sistema de este tipo no solo estriba en la cantidad de energía que puede producir, sino en la capacidad para almacenarla y utilizarla a lo largo del tiempo, esto es la autonomía del sistema. Para este tipo de instalación se tiene que contar con diferentes equipos para el funcionamiento del sistema, de nueva cuenta se debe aclarar que se propondrá un sistema para la iluminación exclusivamente, por lo que hay algunas posibilidades que en la tabla 5.1 se concentran.

Tabla 5.1 Equipos de un sistema híbrido eólico – solar autónomo

Equipo	Características principales
Paneles fotovoltaicos	Permiten aprovechar la energía de radiación solar para producir energía eléctrica
Turbina eólica	Aprovechan la energía mecánica del viento y producen electricidad mediante un generador eléctrico
Acumuladores de ciclo profundo	Realizan la función de almacenar la energía producida, la convierten a electricidad de DC y de bajo voltaje
Lámparas de CD (tecnología LED, ahorradoras de gas)	Aprovechan la energía eléctrica de las baterías directamente, funcionan a voltajes del orden de 12V

Considerando este sistema híbrido se debe considerar también el gasto por iluminación del edificio W sobre el promedio que se obtuvo en el capítulo 2. Para esto debe considerarse el número de luminarias que hay en cada salón, y calcular un consumo de iluminación hay que considerar que en los salones hay un total de 8 luminarias por salón que contienen dos lámparas de barra fluorescentes y que cada una consume 38W-h. En promedio se utilizan los salones 5 horas diarias, así que por cada salón se tendrá un consumo de iluminación diario de: **3040 W-h diarios**

Si en el edificio existen 23 salones, sin contar las oficinas y cubículos, entonces nuestro cálculo debe hacerse sobre 69.92 KWh diarios, sin embargo dado que el promedio del consumo del edificio es de 50.7 KWh diario, se debe considerar un factor de utilización debe considerarse de un 60 % para que sean congruentes los resultados aquí obtenidos. El consumo de iluminación a satisfacer es de 41.9 KWh diarios.

Considerando 42 KWh/día de consumo, por iluminación, se procede a definir un par de situaciones relevantes para la propuesta. Primero, si se van a cambiar las luminarias, en caso de que no se cambien es necesario contar con inversores para obtener electricidad en AC, para poder utilizarla con las instalaciones actuales. En este caso se debe suponer un factor del 20% [ref] que incluye el gasto de conversión de energía AC/DC y la carga de las baterías. En caso de que no hubiera necesidad de un convertidor de AC/DC, se necesitará cambiar las luminarias actuales por otras que funcionen con otro tipo de tecnología que operen a 12V, en este caso el factor debe ser de 10%, únicamente por carga de baterías. Segundo, la autonomía necesaria, es decir, la cantidad de días que se espera funcione el sistema sin ser recargado.

Algunas características limitantes del diseño se citan a continuación:

- No habrá cambios en las luminarias
- Se hará una propuesta para una autonomía de 3 y 5 días
- Únicamente satisfará la demanda de iluminación del edificio W

De la distribución de los circuitos eléctricos podemos aislar un conjunto de salones para alimentarlos con energías alternas y satisfacer la demanda de iluminación de éstos. Supongamos los salones W2, W3, W4, W5, W6, W7 de la planta baja, y los salones W17 y W16, de la planta alta. Dicha área del edificio consume un total 14.56 kWh diario en iluminación por lo que representa cerca de un 25 % del consumo total diario.

La propuesta quedaría conformada entonces por un conjunto de paneles solares y un conjunto de turbinas eólicas que estarían directamente conectados al banco de baterías, el cual a su vez pasaría al inversor, para finalmente abastecer la demanda del edificio W, como se muestra en la figura 5.1

El cálculo de la capacidad de producción será en base a los resultados obtenidos para el periodo planteado, en este caso, de manera arbitraria se tomará en cuenta un conjunto de turbinas eólicas como adicionales a la producción fotovoltaica, dado que su capacidad de producción, es muy poca en comparación con esta última. La capacidad nominal de las turbinas eólicas será 50 % de la capacidad real de las fotovoltaicas, esto a manera de ejercicio, y considerando también que si bien el periodo registrado no es favorable para la producción eólica, existen otros periodos estacionales en que sea mejor el aprovechamiento de la energía del viento.

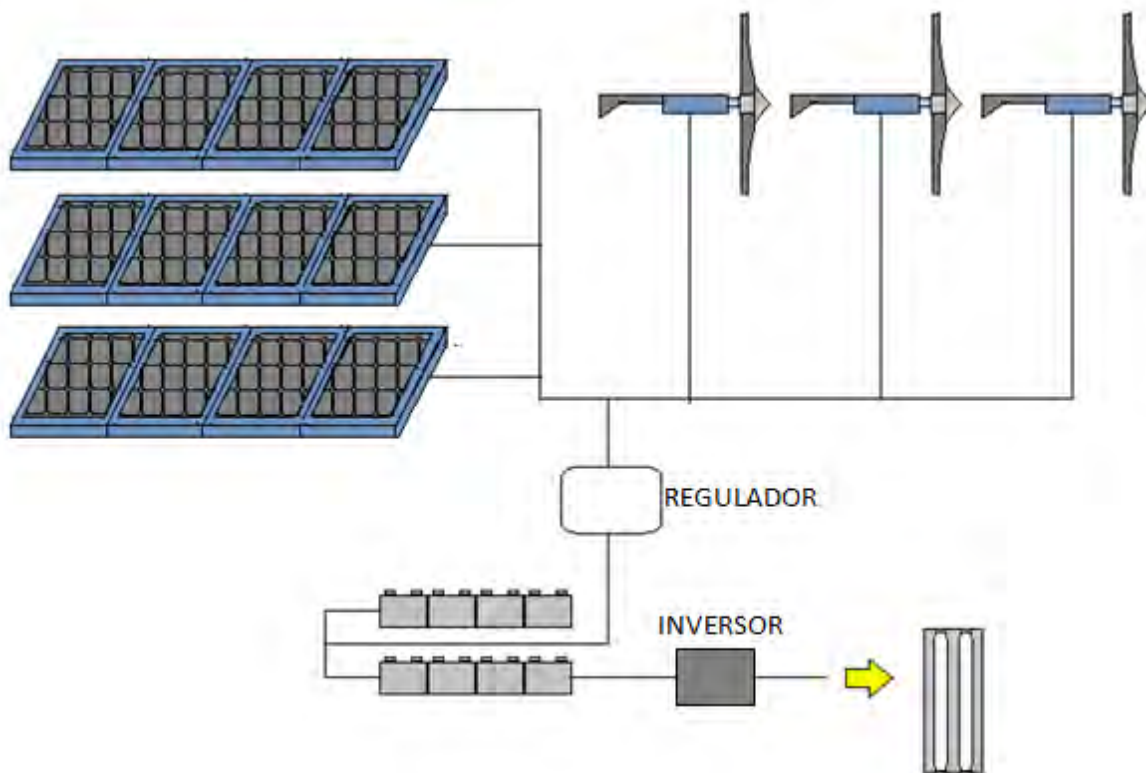


Figura 5.1 Diagrama de instalación de un sistema híbrido sin interconexión a la red con un grado de autonomía

Si se requiere un sistema fotovoltaico para satisfacer una demanda de **17 KW-h** diarios incluyendo la tolerancia del 10 %, se deberá considerar la siguiente ecuación:

$$(\text{num de paneles})(\text{potencia del panel})x(\text{insolación}) = \text{demanda diaria}$$

$$(\text{num de paneles}) = 17000 \text{ Wh}/(140\text{W})x(7.95 \text{ h})$$

La insolación promedio diaria se muestra en los anexos, en la tabla de insolación y radiación solar. Se considera la potencia de 140 W debido a que los paneles instalados tienen esa capacidad nominal.

Según esta ecuación se necesitarán un total de 15.27 paneles, o bien 16 paneles de 1.75 m² cada uno, necesitando un área total de 28 m². Tal cantidad de paneles solares producirá un total de 17 808 W-h diarios, pero se tiene que considerar la eficiencia de conversión de energía, la cual circunda el 70 %, por lo que para poder alcanzar la producción de 17 kW-h diarios es necesario realizar la siguiente ecuación:

$$\text{(Ec. 5.1)} \quad \eta * \text{Potencia ideal} = \text{demanda diaria}$$

$$\text{(Ec. 5.2)} \quad \eta * (\text{num de paneles})(\text{cap nominal})(\text{insolación}) = 17000 \text{ Wh}$$

$$\text{(Ec. 5.3)} \quad (\text{num de paneles}) = \frac{17000 \text{ Wh}}{\eta * (\text{cap nominal})(\text{insolación})}$$

$$\text{(Ec. 5.4)} \quad (\text{num de paneles}) = \frac{17000 \text{ Wh}}{(0.6911) * (140 \text{ W})(7.9495 \text{ hr})} = 22.101$$

Dado este resultado se requerirán **23 paneles** fotovoltaicos de esta capacidad nominal (140 W) para poder satisfacer la demanda indicada. Entonces la parte fotovoltaica producirá 17691.5 W-h diarios, utilizando un área total de 40.25m², lo cual ya es un área de unos 5m x 8m.

Para obtener un micro campo eólico que tenga una capacidad nominal de 8 KWh con aerogeneradores idénticos al que se tiene instalado en el edificio W tendría que suponerse un total que se obtenga a partir de la siguiente ecuación:

$$(Ec. 5.5) \quad num\ turbinas = \frac{Demanda}{producción * num\ hr}$$

Siendo necesario conocer la producción a diferentes velocidades de viento y la cantidad de horas que el viento alcanza esa velocidad. Sin embargo podemos realizar un ejercicio de cálculo suponiendo una velocidad óptima para la generación de energía eólica durante un periodo del día y usar un factor de eficiencia de conversión de energía, obtenido en capítulos anteriores.

$$(Ec. 5.6) \quad num\ turbinas = \frac{8\ 000\ W\ h}{\eta * 400\ W * 10hr}$$

$$(Ec. 5.7) \quad num\ turbinas = \frac{8\ 000\ W\ h}{0.2853 * 400\ W * 10hr} = 7.0101$$

Por lo que serán necesarias 8 turbinas como la del equipo piloto para tener una capacidad nominal de producción de 9 129.6 W-h diarios, esto último a manera de ejercicio.

Faltaría entonces determinar el tamaño del banco de baterías para tener una autonomía de 3 días primero y luego de 5, esto con la intención de tener referencias del tamaño de un banco de baterías para este tipo de sistemas.

Se tiene la siguiente relación para obtener el número de baterías para abastecer de manera autónoma esta demanda:

$$(Ec. 5.8) \quad \frac{demanda * tiempo\ de\ autonomía * factor\ ajuste}{voltaje\ de\ operación} = capacidad\ de\ banco\ de\ baterías$$

$$\frac{17\ 000 * 3\ días * 1.5}{12V} = 6\ 375A - h$$

El factor de 1.5 es el factor combinado de descarga (0.3) y factor de confianza (1.2) [ref]. Las baterías más usadas para estos propósitos son las de 220 A-h y 12 V por lo que un sistema de almacenaje de energía que utilice este tipo de baterías deberá estar conformado

por **29 baterías** en paralelo. Para una autonomía mayor, de cinco días el banco de baterías deberá ser de **43 baterías** de ciclo profundo de 220 A- h

5.1.2 Propuesta de un sistema con interconexión

Un sistema de mayor capacidad para la generación de energía tiene una característica que debe tomarse en cuenta, si se diseña para el consumo total del edificio W, el promedio, habrá días que la producción de energía sea mayor al consumo y otros en que la demanda supere la producción.

Cuando se tiene esta disyuntiva se cuenta también con diferentes alternativas, generalmente se diseña de manera sobrada y los excedentes son suministrados a la red, en este caso de CFE, con la intención de vender esta producción adicional de energía eléctrica previo contrato con la misma CFE, y de forma semejante la energía eléctrica faltante, es obtenida de la red nacional de energía, así se tiene constante venta y compra de energía a lo largo del día, sin embargo, este tipo de sistemas son de alta sensibilidad a las condiciones climáticas.

Otra opción es la de proponer un banco de acumuladores eléctricos, de forma que la energía de todo el sistema híbrido se concentre y abastezca baterías, de manera que no solo se tenga un sistema independiente de la red nacional sino que se tenga un sistema menos variante a lo largo del tiempo. El hecho de decir que este tipo de sistemas es independiente de la red nacional no implica una total autonomía, ya que en caso de una falta de producción eléctrica para satisfacer una demanda alta, se tendrá como respaldo la red de CFE. En cuanto al sistema con acumuladores también hay un cuestionamiento que se debe tener en mente y es la autonomía que se requiere o que se quiere tener del sistema híbrido de generación de energía.

Tabla 5.2 Principales equipos de un sistema híbrido eólico – solar con interconexión a la red eléctrica y sus características importantes

Equipo	Características principales
Paneles fotovoltaicos	Permiten aprovechar la energía de radiación solar para producir energía eléctrica
Turbina eólica	Aprovechan la energía mecánica del viento y producen electricidad mediante un generador eléctrico
Acumuladores de ciclo profundo	Realizan la función de almacenar la energía producida, la convierten a electricidad de DC y de bajo voltaje
Inversor	Hace la conversión de energía aumentando el voltaje a 120V o 220V según sea el caso, y convierte la DC a AC senoidal
Controlador	Se encarga de medir la energía que proviene del inversor y la demanda del sitio, toma la decisión de cambiar a la red nacional cuando es necesario

En la figura 5.2 se puede observar que el inversor y el controlador pueden ir en un solo encapsulado, pero que también pueden ser equipos separados. Se presentan también un par de flechas sobre la línea de la red nacional de energía eléctrica, que indica la dualidad de ésta, ya que puede consumir o puede ser fuente de alimentación dependiendo de la situación de demanda y de carga del banco de baterías.

El cálculo de la capacidad de este sistema lleva un procedimiento similar al empleado para conseguir el dimensionamiento del sistema sin interconexión a la red nacional. Para poder realizarlo, solo hay ciertos cambios en los parámetros.

Las diferentes características con que contará este sistema híbrido serán:

- Necesita de una fuente de respaldo (CFE), la cual brindará electricidad cuando el sistema no proporcione la necesaria para satisfacer la demanda
- Su autonomía será menor a la planteada anteriormente debido a que no será independiente de la red nacional de energía eléctrica
- Contará con un sistema de compra – venta de energía con CFE
- Será proyectada para satisfacer el consumo medio del edificio W

Al realizar los diferentes cálculos se supone que el sistema híbrido deberá cubrir un porcentaje de 30 % de la demanda total media diaria del edificio W, que es, 50.57 KWh, agregando la producción de las celdas fotovoltaicas de 4.97 KWh diarios, por lo que la demanda a satisfacer es de **16.66 KWh**, es decir aproximadamente 17 KWh. Para los sistemas con interconexión únicamente se aplica un factor de 1.5 para concentrar en él todas las pérdidas. Por lo que se deberá diseñar el sistema para **26 KWh**

En la tabla 5.3 se concentran los resultados del dimensionamiento del sistema, considerando que se tendrá una producción fotovoltaica para satisfacer las necesidades de consumo y una producción eólica nominal del 50% de la demanda, siguiendo los pasos del cálculo para el dimensionamiento de un sistema híbrido sin interconexión a la red.

Tabla 5.3 Resultados del sistema híbrido con interconexión a la red

	Celdas fotovoltaicas	Turbinas eólicas	Baterías
Número de equipos	34	8	15
Producción KWH	26152.6	9129.6	*
Área total de captación m2	59.5	9.04	*
	*	*	1 día

Dada esta cantidad de energía que se produciría se puede tener una perspectiva de como se cubrirá la demanda del edificio W que se puede observar en la figura 5.3.

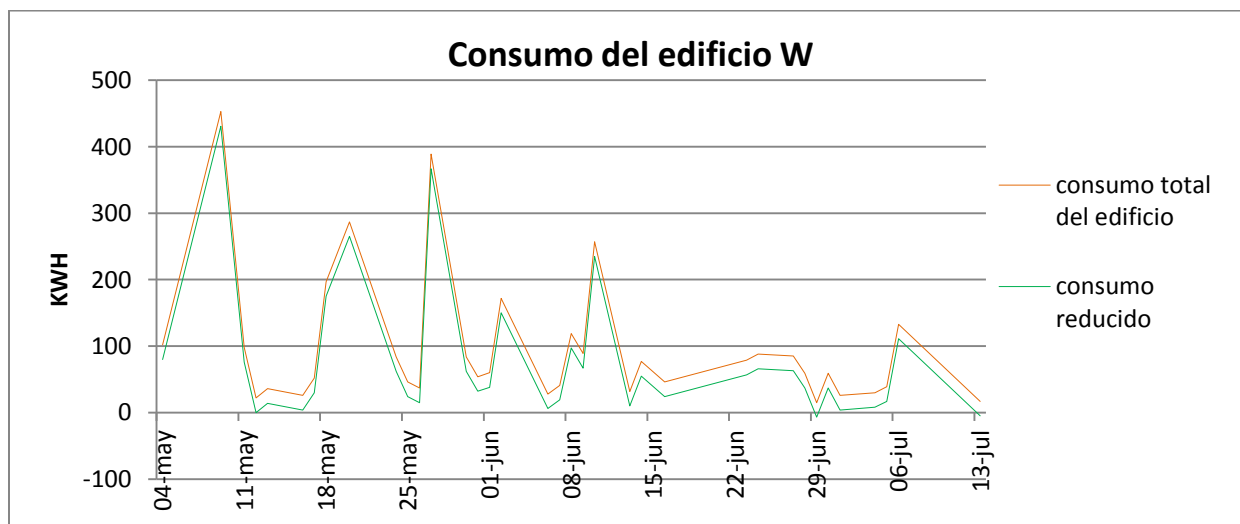


Figura 5.3 Gráfica de la demanda y producción en el periodo estudiado

Esta gráfica nos indica la cantidad de KWH que se consumen de CFE, la línea superior representa el consumo sin producción de ningún tipo. Mientras que la línea inferior muestra como se reduce el consumo cuando hay un equipo presente de generación eléctrica.

Es necesario definir la capacidad nominal de los sistemas que pretenden hacer un convenio con CFE de compra-venta de energía eléctrica mediante un equipo interconectado, debido a que en la legislación mexicana al respecto existe un mínimo, para poder solicitar este tipo de acuerdos. La última reforma indica que debe ser mayor a 1MW la capacidad nominal del

sistema interconectado para hacer un trato de compra – venta de energía eléctrica. En la siguiente tabla se tienen las capacidades nominales de los equipos del sistema híbrido y el total según diferentes consideraciones

Tabla 5.4 Capacidad nominal del sistema híbrido con interconexión

Equipo	Cantidad	Potencia nominal	Potencia nominal total
Celda fotovoltaica	34	140 W	4.76 KW
Turbina eólica	8	400 W	3.2 KW
TOTALES			7.96 KW

Apéndice Ambiental

En este apartado se dará una comparativa del ahorro en emisiones de CO₂, de diferentes combustibles y la que se maneja en ámbitos comerciales.

La mayor deficiencia de un análisis de impacto ambiental es la de definir la producción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El principal contaminante de estos gases es el CO₂, que daña de manera permanente la capa de ozono.

Para nuestro sistema fotovoltaico instalado, los técnicos encargados de la programación del equipo utilizan un factor para determinar la cantidad de CO₂ que se ahorra por cada KWh producido. La escala que utilizan los proveedores es de 1.18 Lb CO₂ / KWh Producido, o lo que es lo mismo KWh consumido por el edificio W.

La figura B1 representa el ahorro de CO₂ en libras masa según el contador del controlador IG2000Fronius®

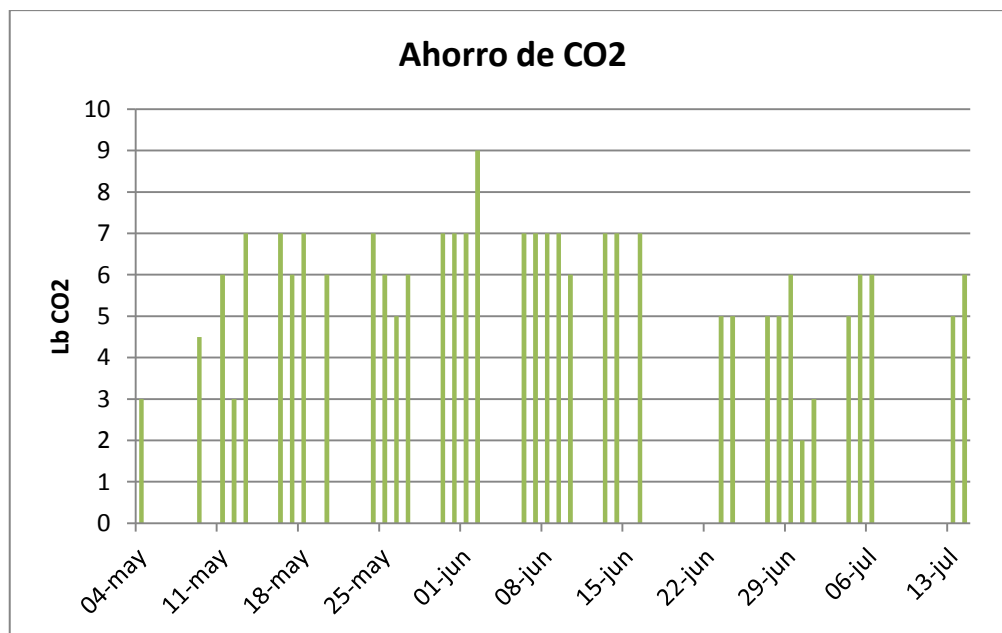


Figura B1 Ahorro de CO2 en Libras periodo Mayo – Julio

Si hacemos una correlación con la producción fotovoltaica, observamos que el comportamiento de los dos gráficos de las figuras 4.1 y 4.3 (capítulo 4) es idéntico. Lo que se refiere a un comportamiento lineal entre ambos parámetros, esto es debido a que se considera un promedio de ahorro. Es complicado llevar a cabo este tipo de análisis, debido a que el ahorro de CO₂ depende de la fuente que se emplea para la obtención de energía eléctrica.

Tabla B1 Comparativa de la quema de diferentes combustibles y la cantidad de CO2 a la atmósfera

Combustible	Energía calorífica (KWh)	CO2 a la atm (ton)	Eficiencia planta	Eficiencia distribución	Energía eléctrica consumida (KWh)	CO2 a la atm por KWh calorífico (Kg/KWh)	CO2 a la atm por KWh elec (Kg/KWh)
TEP	11630	-----	-----	-----	-----	-----	-----
TEP Gas Nat	11630	2.1	0.4	0.8	3721.6	0.1806	0.5643
TEP Carbón	11630	3.8	0.4	0.8	3721.6	0.3267	1.0211
TEP Gasoil	11630	2.9	0.4	0.8	3721.6	0.2494	0.7792

Por esta relación se puede definir que es importante establecer de manera precisa como se obtiene la energía eléctrica en la ciudad de Morelia, ya que para este lugar existen diferentes plantas generadores pertenecientes a CFE que utilizan diferentes combustibles y fuentes de energía, que producen parte de la energía consumida en este sitio. Desde plantas termoeléctricas de carbón, gasoil, etc., hasta plantas geotérmicas, e hidroeléctricas que entran en servicio en diferentes circunstancias y periodos del día. Sin embargo, como método comparativo podemos definir que en función de los análisis anteriores, el ahorro de CO₂ a la atmósfera alternando los valores obtenidos se encuentran en la gráfica siguiente.

Considerando el sistema interconectado y un promedio diario de producción de 17 KWh se tendría una proyección de ahorro de emisiones contaminantes como se muestra en la gráfica B2

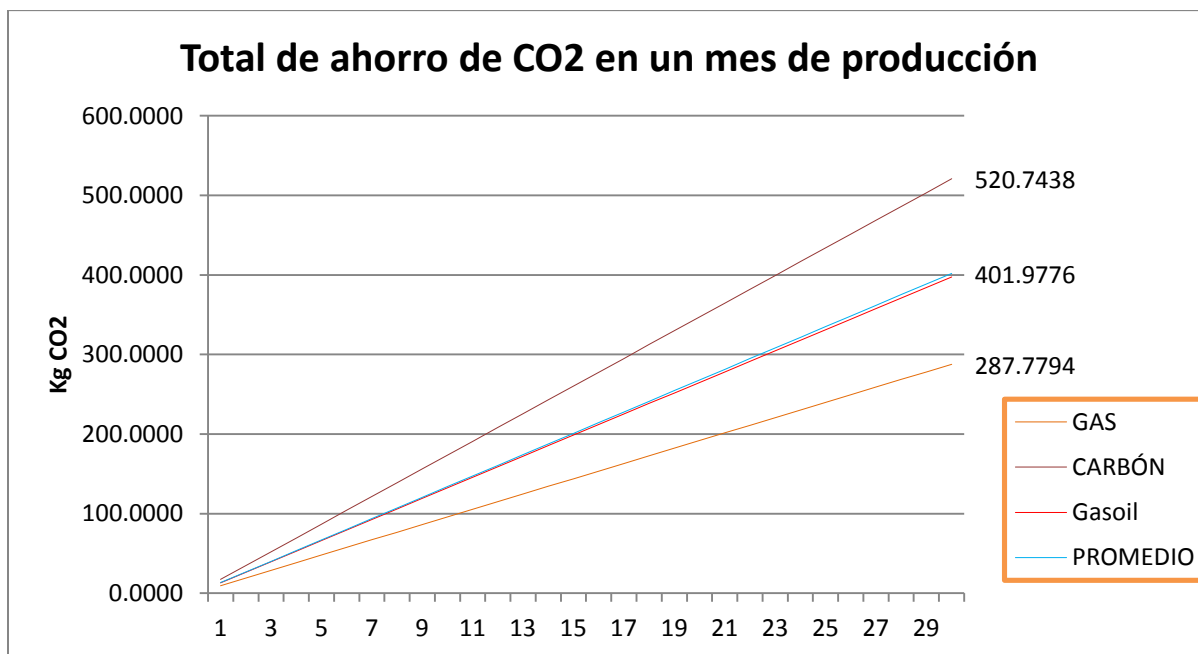


Figura B2 Ahorro de CO2 del equipo híbrido con interconexión, para diferentes combustibles

Conclusiones

- Se pudo calcular la cantidad de energía potencial existente en el sitio de estudio. Tanto la potencia de radiación solar diaria promedio como la velocidad del viento en una serie de tiempo. A pesar de tener estos datos para el periodo citado es necesario realizar un estudio más amplio, para la revisión de las condiciones estacionales, principalmente las velocidades del viento.
- Se consiguió determinar la eficiencia de los equipos que están funcionando. Se calculó un factor denominado eficiencia de conversión de energía para ambas fuentes de energía
- Se produjeron diferentes gráficas que permiten comparar el comportamiento de los equipos instalados, el consumo del edificio W y la cantidad de energía suministrada a la red
- Se logró dimensionar un equipo que satisface un 30 % de consumo eléctrico de la FIM considerando las condiciones de operación revisadas en la ubicación de los equipos
- Se ha obtenido un beneficio ambiental que tiene una incertidumbre, sin embargo el beneficio existe, el ahorro de emisiones de CO₂ está entre 0.535 Kg / KWh consumido y 1.0211 Kg/KWh, el primero es considerado por los fabricantes, el último en función del combustible empleado

Bibliografía

- [1] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía **www.conuee.gob.mx**

- [2] Plan de Desarrollo Institucional 2010 – 2020. UMSNH. H. Consejo Universitario. Julio 2010

- [3] Agencia de Energía de Barcelona **www.barcelonaenergia.cat**

- [4] Hernández G., Dimensionado De Sistemas Integrados De Energía Eólica/Hidrógeno/Celdas De Combustibles, UNAM, Centro de investigación en energía, 2011

- [5] Página oficial CFE: **www.cfe.com**

- [6] Kemp W.; The Renewable Energy Handbook, 2005

- [7] **www.circuloverde.com.mx**

- [8] Presentación de metodología para la determinación de potencial eólico. IIE

- [9] Presentación de metodología para la determinación de potencial solar.IIE

- [10] Base de datos ERIC. Radiación solar promedio mensual.IIE

- [11] Vigil O., Hernández L., Santana G., Fotovoltaicos: fundamentos y aplicaciones, 2011 Instituto Politécnico Nacional, primera edición






- [12] Mejía M., Pronóstico De La Velocidad Del Viento Utilizando Modelos ARIMA Y Redes Neuronales Artificiales, división de estudios de Posgrado FIM UMSNH, 2011
- [13] ARIES Ingeniería y sistemas, s. a.; tecnologías termoeléctricas. Situación actual de proyectos termoeléctricos a escala mundial. Ventajas ambientales
- [14] Reglamento técnico de instalaciones eléctricas colombianas, 2004, p. 51
- [15] Camacho Anguiano I.; Ecología y medio ambiente 2006
- [16] Varios (UPIICSA); validación de la metodología de la evaluación ambiental en centros educativos nacionales de nivel superior y su relación con medios productivos; Manual, impreso 2007
- [17] Tena García J.; ILUMINACIÓN DE ESPACIOS FISICOS POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA F. I. M. Tesis de Licenciatura, Marzo 2010
- [18] Rubio Maya C., Pacheco Ibarra J., Galván González S.; Poligeneración y generación distribuida – concepto, ventajas y aplicación; Publicado en “Ciencia, Tecnología Y Humanidades” revista sem. De la FIM, UMSNH; 2010
- [19] Sau Man Lai, Chi Wai Hui Integration of trigeneration system and termal storage under demand uncertainties, 2008
- [20] Chicco Gianfranco, Mancarelli Pierluiggi; Distributed multi – generation: A comprehensive view; on press
- [21] Díez, Pedro Fernández, “Energía Eólica”, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España, 2002.
- [22] Gobierno Vasco; Cambio climático, Departamento de Ordenación y Medio

Ambiente, Plan ambiental 2005

- [23] www.ausra.com
- [24] Pereda Soto I.; Celdas fotovoltaicas en generación distribuida, Pontificia Universidad Católica De Chile Escuela De Ingeniería, 2005
- [25] S. Firth *, K. Lomas, A. Wright, R. Wall; Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements, 2007
- [26] Navarrete N. “Desarrollo del Marco Jurídico de las Fuentes de Energía Renovables en la Generación de Energía Eléctrica”, 2009
- [27] Steven K. Firth, Richard A. Buswell and Kevin J. Lomas; “A simple model of domestic pv systems and their integration with building loads”, 2009
- [28] Almonacid, G., Aguilar, J. D., de la Casa, J., Garrido, A; “Energías renovables para centros históricos”, 1994
- [29] Muyeen S., Tamura J., Murata T.; “Stability Augmentation of a grid-connected wind farm”, 2009
- [30] Borja M., Manual de operaciones Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de energías alternas, Gerencia de energías no convencionales, anexo 5, 2005
- [31] Cadenas E, Rivera W., Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMAEANN model. Renewable energy 35, 2010
- [32] Cadenas E, Rivera W., Short term wind speed forecasting in La Venta, Oaxaca, México, using artificial neural networks. Renewable energy 34, 2010

- [33] Schleisner L. (2000). Life cycle assessment of a wind farm and related externalities. *Renewable Energy*, Volume 20 (3), pp. 279–288.
- [34] Dones, R., Heck, T. and Hirschberg, S. (2004). Greenhouse gas emissions from energy systems, comparison and overview. *Encyclopedia of Energy*, Volume 3 (xx), pp. 77-95.
- [35] Jangamshetti S. H. and Rau G. (1999). Site matching of wind turbine generators: a case study. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Volume 14 (4), pp. 1537-1543
- [36] Informe sobre el desarrollo mundial. Desarrollo y cambio climático. (2010). Banco Mundial. Disponible en línea en: <http://www.worldbank.org>
- [37] World Energy Outlook. Resumen Ejecutivo. (2009). International Energy Agency. Disponible en línea en: <http://www.worldenergyoutlook.org>
- [38] Bernal J.L., Dufo L. R., and Rivas-Ascaso D.M. (2006). Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions. *Renewable Energy*, Volume 31 (14), pp. 2227–44
- [39] Justus, C. G., Hargraves W. R., Mikhail A. and Graber D. (1978). Methods for estimating wind speed frequency distributions. *Journal of Applied Meteorology*, Volume 17 (3), pp. 350-353

ANEXOS

CARACTERISTICAS Y COSTO DEL SISTEMA COMPLETO								
GENERADOR FOTOVOLTAICO								
	Número de Módulos	Capacidad de generación eléctrica			Área de colección x colector	Área de colección total	% eficiencia w. x m2	% eficiencia estimado zona
		hora x modulo	Total / hora	Total / día				
	8	140 máx W / hr	1,120 W / hr / máx	1,120 W / día prom	1.75 m2	14 m2	15 – 17 %	90%
MODULOS FV SOLARES		MODULOS FOTOVOLTAICOS Series Absol MFV. Celda Fabricada en Alemania, Q-cells Tecnología en silicio policristalinos o monocristalino. Ultra sensible a cualquier intensidad de luz contenida en aluminio anodizado cubierto con cristal solar ultra transparente bajo en hierro, templado, ligero y durable. Vida Útil superior a 30 años. Garantía 15 años. (ver ficha técnica)						
TURBINAS EOLICAS		Capacidad de generación eléctrica nominal 1,800 w 40 km / hr		Energía total disponible promedio diario 4,320 watts		Voltaje de operación 120 V		Diámetro rotores 3.7 m.
		5% efíc. zona						
INVERSORES EN CONEXION A RED		1 INVERSOR DE 2000 WATTS de potencia SMA/Fronius, modelo IG 2000, expandibles hasta un 20% más sobre la capacidad fotovoltaica propuesta sin ninguna modificación mayor. Sistema perfectamente compatible a la frecuencia de CFE. Garantía por 5 años. Fabricado en Alemania. (ver ficha técnica)						
SISTEMA DE MONITOREO		SUNNY WEBBOX, Software de monitoreo de datos, energía y rendimiento, amperajes, volts, watts, detección de fallos, presentación de diagnósticos y gráficos, referencias instantáneas, promedio e históricas. Lo anterior hasta su PC. (ver ficha técnica).						
SISTEMA DE PROTECCION		SMA GRID GUARD, Interfaz de seguridad, conmutador de desconexión automático de red, bajo la norma alemana E DIN VDE 0126, impide la inyección accidental de energía a través de la red cuando esta desaparece.						
INSTALACION	Instalación y supervisión especializada completa, puesta e interconexión de sistemas, módulos, inversores, equipos de monitoreo y medición, programación, tableros de protección, en base al alcance de los requerimientos de este proyecto y diagrama.							
MATERIAL Y EQUIPO	Material eléctrico, accesorios, protecciones y equipos para realizar la correcta interconexión de todos los equipos y sistemas, (cableado general, tubo sapa, conectores, interruptores de protección, ductos, cajas).							
ESTRUCTURAS Y SOPORTES	Estructura sobre nivel de piso, juego de montajes, PTR/PERFIL, anclada en puntos específicos para colocar las distintas series de módulos asegurando la integridad del sistema.							

Plantas meteorológicas caseras

Mediciones del viento, dirección, lluvia, temperatura, humedad, presión, altitud de manera inalámbrica utilizando energía solar hasta la computadora de captura y análisis de datos.



Características Principales

UNIDAD PRINCIPAL

- Pantalla touchscreen con luz de fondo para fácil manejo y uso.
- La previsión animada del tiempo incluye icono de soleado, parcialmente nublado, nublado, lluvia y nieve
- Dispositivo de almacenaje de datos incluido con espacios para datos de 1 año. Ajustes variables para adaptarse a sus necesidades
- Compatible con sensores interiores y hasta 10 sensores exteriores de temperatura y humedad
- Se conecta a un sensor de viento, un sensor de lluvia, un sensor de temperatura/humedad y un sensor de rayos UVA (opcional)
- Mide y muestra la temperatura, índice de calor, humedad, punto de condensación, velocidad del viento, dirección del viento, temperatura de sensación, índice UVA, presión barométrica y precipitación diaria/acumulada
- Lecturas de temperatura actual y de 24 horas almacenadas en la memoria y codificadas por tiempo
- Alarmas de alerta meteorológica por temperaturas alta y baja, índice de calor, humedad, punto de condensación, ráfagas de viento y alto índice de lluvias, e índice UVA
- Muestra gráficos de barras de las últimas 24 horas de presión barométrica, la precipitación acumulada e índice UVA
- Transmisiones de largo alcance que permiten que haya hasta 100 metros entre la unidad principal y los sensores remotos.
- Datos de medición en unidades variables, métricos, ingleses,

INCLUYE

- Unidad principal de captura y análisis con pantalla táctil con luz.
- Sensor de viento remoto WGR800
 - Kit de montaje completo para montaje en un mástil metálico
 - Mide la velocidad y dirección del viento
- Panel solar STC800 (incluido)
 - Pilas alcalinas incluidas 2 AA
- Sensor remoto de lluvia PCR800
 - Fácil de instalar, con indicador de nivel de suelo
 - Recolector de lluvia que se vacía automáticamente
- Sensor remoto de temperatura / humedad THGN801
 - Kit de montaje completo para montaje en un mástil metálico.
 - Mide temperatura y humedad
 - Conectable al panel solar STC800 (Incluido)







Tabla 3.1 Energía eólica en el sitio

Velocidades de viento	Potencia por unidad de área	Potencia max del viento	Frecuencia acumulado	Frecuencia relativa	Datos en la tabla	Total de horas	Energía max total del viento	Porcentaje de aprovechamiento	Producción esperada	Producción máxima total	
m/s	W/m ²	W	--	%	--	hr	KW-h-total	%	W	KW-h-total	
<1	0.61	0.69	0.383	38.3	3383	845.75	--	0.00	0.00	0.00	
1 a 2	2.07	2.34	0.758	37.5	3312	828	--	0.00	0.00	0.00	
2 a 3	9.57	10.82	0.912	15.4	1360	340	--	0.00	0.00	0.00	
3 a 4	26.26	29.70	0.983	7.1	627	156.75	4.66	2.07	8.28	1.30	
4 a 5	55.81	63.12	0.995	1.2	106	26.5	1.67	6.64	26.56	0.70	
5 a 6	101.90	115.25	0.999	0.4	35	8.75	1.01	15.65	62.60	0.55	
>6	145.98	165.10	1	0.1	9	2.25	0.37	28.31	113.24	0.25	
TOTALES							2208	7.71		TOTALES	2.80

Tabla 3.3 Radiación solar

INSOLACION			RADIACIÓN	Potencia solar por	Energía Solar por	Energía solar por	Energía en los	Energía aprovechable
			Media	unidad de area	hora por unidad de	día KWh	equipos	máxima
			(5 min)	(KJ/m2)*1000 /	(W/m2)*12	(W-H/m2)	(W-H/m2)*	KWH* insolación
HRS.	MIN.	HRS	KJ/m2	W/m2	W-H/m2	W-h/m2-día	KWH	KWH-día
10	4	10.07	1.93	6.43	77.2000	777.1467	1.0808	10.8801
10	22	10.37	2.04	6.80	81.6000	845.9200	1.1424	11.8429
8	27	8.45	1.72	5.73	68.8000	581.3600	0.9632	8.1390
9	30	9.50	1.61	5.37	64.4000	611.8000	0.9016	8.5652
8	46	8.77	1.79	5.97	71.6000	627.6933	1.0024	8.7877
7	24	7.40	1.54	5.13	61.6000	455.8400	0.8624	6.3818
5	51	5.85	1.54	5.13	61.6000	360.3600	0.8624	5.0450
9	4	9.07	1.90	6.33	76.0000	689.0667	1.0640	9.6469
6	55	6.92	1.44	4.80	57.6000	398.4000	0.8064	5.5776
10	26	10.43	1.81	6.03	72.4000	755.3733	1.0136	10.5752
8	46	8.77	1.81	6.03	72.4000	634.7067	1.0136	8.8859
10	25	10.42	1.72	5.73	68.8000	716.6667	0.9632	10.0333
10	12	10.20	1.82	6.07	72.8000	742.5600	1.0192	10.3958
6	13	6.22	1.55	5.17	62.0000	385.4333	0.8680	5.3961
8	18	8.30	1.69	5.63	67.6000	561.0800	0.9464	7.8551
8	19	8.32	1.69	5.63	67.6000	562.2067	0.9464	7.8709
9	31	9.52	1.53	5.10	61.2000	582.4200	0.8568	8.1539
8	33	8.55	1.65	5.50	66.0000	564.3000	0.9240	7.9002
6	14	6.23	1.31	4.37	52.4000	326.6267	0.7336	4.5728
3	48	3.80	1.17	3.90	46.8000	177.8400	0.6552	2.4898
6	2	6.03	1.22	4.07	48.8000	294.4267	0.6832	4.1220
10	10	10.17	1.77	5.90	70.8000	719.8000	0.9912	10.0772
10	31	10.52	2.16	7.20	86.4000	908.6400	1.2096	12.7210
10	20	10.33	2.10	7.00	84.0000	868.0000	1.1760	12.1520
9	28	9.47	1.80	6.00	72.0000	681.6000	1.0080	9.5424
9	46	9.77	1.82	6.07	72.8000	711.0133	1.0192	9.9542
10	7	10.12	2.04	6.80	81.6000	825.5200	1.1424	11.5573
9	7	9.12	1.92	6.40	76.8000	700.1600	1.0752	9.8022
10	38	10.63	2.22	7.40	88.8000	944.2400	1.2432	13.2194
7	44	7.73	1.55	5.17	62.0000	479.4667	0.8680	6.7125
9	17	9.28	1.89	6.30	75.6000	701.8200	1.0584	9.8255
10	59	10.98	2.02	6.73	80.8000	887.4533	1.1312	12.4243
11	2	11.03	2.00	6.67	80.0000	882.6667	1.1200	12.3573

11	6	11.10	2.20	7.33	88.0000	976.8000	1.2320	13.6752
10	28	10.47	1.87	6.23	74.8000	782.9067	1.0472	10.9607
9	17	9.28	2.01	6.70	80.4000	746.3800	1.1256	10.4493
10	0	10.00	1.97	6.57	78.8000	788.0000	1.1032	11.0320
7	30	7.50	1.63	5.43	65.2000	489.0000	0.9128	6.8460
7	59.4	7.99	1.07	3.57	42.8000	342.0433	0.5992	4.7886
7	59.4	7.99	0.96	3.20	38.4000	306.8800	0.5376	4.2963
7	59.4	7.99	1.24	4.13	49.6000	396.3867	0.6944	5.5494
7	59.4	7.99	0.81	2.70	32.4000	258.9300	0.4536	3.6250
7	59.4	7.99	1.01	3.37	40.4000	322.8633	0.5656	4.5201
8	29	8.48	1.58	5.27	63.2000	536.1467	0.8848	7.5061
6	12	6.20	1.24	4.13	49.6000	307.5200	0.6944	4.3053
7	49	7.82	1.61	5.37	64.4000	503.3933	0.9016	7.0475
5	6	5.10	1.01	3.37	40.4000	206.0400	0.5656	2.8846
6	27	6.45	0.97	3.23	38.8000	250.2600	0.5432	3.5036
10	26	10.43	1.93	6.43	77.2000	805.4533	1.0808	11.2763
10	15	10.25	1.52	5.07	60.8000	623.2000	0.8512	8.7248
10	33	10.55	1.68	5.60	67.2000	708.9600	0.9408	9.9254
9	37	9.62	1.53	5.09	61.1000	587.5783	0.8554	8.2261
7	48	7.80	1.53	5.09	61.1000	476.5800	0.8554	6.6721
7	45	7.75	1.40	4.67	56.0000	434.0000	0.7840	6.0760
7	33	7.55	1.51	5.03	60.4000	456.0200	0.8456	6.3843
9	12	9.20	1.66	5.53	66.4000	610.8800	0.9296	8.5523
7	51	7.85	1.66	5.53	66.4000	521.2400	0.9296	7.2974
9	36	9.60	1.87	6.23	74.8000	718.0800	1.0472	10.0531
10	29	10.48	1.79	5.97	71.6000	750.6067	1.0024	10.5085
3	22	3.37	1.02	3.40	40.8000	137.3600	0.5712	1.9230
6	11	6.18	1.33	4.44	53.3000	329.5717	0.7462	4.6140
5	27.6	5.46	1.00	3.33	40.0000	218.3333	0.5600	3.0567
4	44	4.73	1.52	5.07	60.8000	287.7867	0.8512	4.0290
6	30	6.50	1.40	4.67	56.0000	364.0000	0.7840	5.0960
5	58.8	5.98	0.89	2.97	35.6000	213.0067	0.4984	2.9821
5	58.8	5.98	0.83	2.77	33.2000	198.6467	0.4648	2.7811
5	28	5.47	1.26	4.20	50.4000	275.5200	0.7056	3.8573
3	4	3.07	1.27	4.23	50.8000	155.7867	0.7112	2.1810
4	31.8	4.53	0.76	2.53	30.4000	137.8133	0.4256	1.9294
4	31.8	4.53	0.81	2.70	32.4000	146.8800	0.4536	2.0563
4	31.8	4.53	0.93	3.10	37.2000	168.6400	0.5208	2.3610
6	0	6.00	1.32	4.40	52.8000	316.8000	0.7392	4.4352
6	5	6.08	1.23	4.10	49.2000	299.3000	0.6888	4.1902
4	56	4.93	1.20	4.00	48.0000	236.8000	0.6720	3.3152

8	15	8.25	1.65	5.50	66.0000	544.5000	0.9240	7.6230
7	42	7.70	1.82	6.07	72.8000	560.5600	1.0192	7.8478
7	53	7.88	1.60	5.33	64.0000	504.5333	0.8960	7.0635
7	33	7.55	1.75	5.83	70.0000	528.5000	0.9800	7.3990
8	43.8	8.73	1.09	3.63	43.6000	380.4100	0.6104	5.3257
9	54	9.90	1.81	6.03	72.4000	716.7600	1.0136	10.0346
4	11	4.18	1.02	3.40	40.8000	170.6800	0.5712	2.3895
9	55	9.92	2.03	6.77	81.2000	805.2333	1.1368	11.2733
9	34	9.57	2.02	6.73	80.8000	772.9867	1.1312	10.8218
8	23	8.38	1.80	6.00	72.0000	603.6000	1.0080	8.4504
7	36	7.60	1.77	5.90	70.8000	538.0800	0.9912	7.5331
3	35	3.58	0.97	3.23	38.8000	139.0333	0.5432	1.9465
5	45	5.75	1.16	3.87	46.4000	266.8000	0.6496	3.7352
5	22	5.37	1.32	4.40	52.8000	283.3600	0.7392	3.9670
7	2	7.03	1.5410	5.14	61.6398	433.5331	0.8630	6.0695
7	5	7.08	1.5410	5.14	61.6398	436.6151	0.8630	6.1126
9	13	9.22	1.5410	5.14	61.6398	568.1132	0.8630	7.9536
10	33	10.55	1.5410	5.14	61.6398	650.2996	0.8630	9.1042
							TOTAL ACUMULADO	661.6064
							PROMEDIO	7.1914