



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA

“GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA”.
CASO DE ESTUDIO: AUDITORIOS DE LA UNIDAD DE POSGRADO.

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:
MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
ARQ. IVAN RAFAEL VALDIVIA ORTEGA

DIRECTOR DE TESIS:
M. A. ANTONIO BAUTISTA KURI
Posgrado de Arquitectura

SINODALES:
M. A. FRANCISCO REYNA GÓMEZ
Posgrado de Arquitectura
M. A. JORGE RANGEL DAVALOS
Posgrado de Arquitectura
M. A. ARTURO VALERIANO FLORES
Posgrado de Arquitectura
ARQ. HÉCTOR FERREIRO LEÓN
Posgrado de Arquitectura



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS



AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermano, por el apoyo que me brindaron en todo momento para que pudiera terminar mis estudios de Maestría en Arquitectura.

A mi tutor y sinodales por compartir sus conocimientos y experiencia conmigo con la cual se enriqueció el contenido de mi tesis.

También quiero agradecerles a las siguientes personas por su apoyo:

Arq. Julián Cuvarrubias Valdivia. (Encargado del Laboratorio de Diseño Industrial)

Ing. Oscar Arceo Castañeda (Coordinador de obras exteriores de la DGOC)

Ing. Francisco Puente (Coordinador administrativo de la Unidad de Posgrado)

Lic. Alejandro Villalobos Vivas. (Coordinador administrativo de la Unidad de Posgrado)

Quiero hacer un especial agradecimiento a las siguientes instituciones:



(CONACYT)



(FACULTAD DE ARQUITECTURA)



(UNIDAD DE POSGRADO)

SINODO

M. Arq. Antonio Bautista Kuri

M. Arq. Francisco Reyna Gómez

M. Arq. Jorge Rangel Dávalos

M. Arq. Arturo Valeriano Flores

Arq. Héctor Ferreiro León

ÍNDICE

Introducción.	a-d
1.- Planteamiento del problema	1
2.- La energía	9
2.1. Tipos de energía	9
Energía no renovable	10
Energía renovable	11
3.- La energía eólica (en México y en el mundo) y a pequeña escala (generación distribuida)	15
3.1 La energía eólica en México	15
3.2 La energía eólica en el mundo	20
3.3 La energía eólica a pequeña escala (generación distribuida)	27
4.- Casos reales de aplicación para que su energía sea renovable en futuro cercano.	44
Costa Rica	44
Estados Unidos	44
Hawaii	45
Suecia	45
Uruguay	46
5.- Análisis del viento	47
5.1 Tipos de viento	48
6.- Aerogeneradores	52
6.1 ¿Qué es un aerogenerador?	52
6.2 Aerogenerador de eje vertical	52
6.3 Aerogenerador de eje horizontal	53
6.4 Componentes de aerogenerador	54
6.5 Tipos de funcionamiento de un aerogenerador	55
7.- Fase de experimentación para el caso estudio	56
7.1 Primera etapa: medición de las variables	58
7.2 Segunda etapa: análisis y procesamiento de los datos de medición	65
7.3 Tercera etapa: cálculo del consumo total de los auditorios para poder proponer los equipos que se van a instalar en el edificio.	94
8.- Caso estudio: Auditorios de la unidad de posgrado	96

9.- Panorama a futuro	105
10. Conclusiones	112
Referencias bibliográficas	115
Glosario	120
Anexos	121
A. Ejemplo de consumo de energía eléctrica sector residencial	121
B. Planos arquitectónicos, Edificio F	122
C. Fotografías de los auditorios	132
D. Ficha técnica aerogenerador	133
E. Cotización de los equipos	135
F. Matrices con la dirección del viento por mes	136
G. Matrices con la velocidad del viento por mes	142
H. Comparación de los datos del viento en 10 años	148

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son de mayor consumo a nivel mundial, en particular en el sector energético y en las regiones que han puesto en marcha medidas para promover su implementación. Se ha observado una tasa de crecimiento en la última década para algunas tecnologías de energías renovables y se prevé que sigan creciendo. Sin embargo, la situación está matizada en los tres usos principales de la energía: la electricidad (corriente alterna), el calor (calentamiento de agua y/o aceite) y el transporte (corriente directa). La generación de energía eléctrica y de calor por medio de energías renovables está creciendo en todos los países. (World Energy Outlook, 2014)

Una de estas energías renovables es producida por aerogeneradores con la ayuda indispensable del viento. El cual es una fuente limpia que no produce contaminación al aire o medio ambiente. Los costos operativos en el movimiento de las aspas del aerogenerador son muy bajos. Los avances de producción, comercialización y tecnología están haciendo que los aerogeneradores o turbinas de viento, sean más económicas, y muchos gobiernos ofrecen incentivos fiscales para estimular el desarrollo de energías renovables.

La energía eólica se ha consolidado firmemente como la opción principal para la generación de energía eléctrica. La energía eólica es la opción de menor costo al agregar nueva capacidad de generación a la red. (Lahuna & Steve, 2014)

La capacidad eólica mundial creció un 13.5% sobre una base anual del 2013-2014. Las razones por las que el mercado eólico ha tenido un desarrollo positivo en todo el mundo, son sin duda las ventajas económicas, de ubicación, de atracción turística. La competitividad cada vez mayor en relación con otras fuentes de electricidad (base de recursos no renovables), así como la necesidad urgente de implementar tecnologías libres de emisiones con el fin de mitigar el cambio climático y la contaminación del aire. (The World Wind Energy Association: A half report 2014, 2014)

Las inversiones en tecnologías de energía renovable, como la solar y eólica pueden ayudar a mitigar los efectos de los precios volátiles del petróleo y el cambio climático. (Matakiviti, 2014)

Actualmente existe una opción dirigida al sector residencial (pequeña escala) para generar energía eléctrica con el aprovechamiento del viento. Se llaman mini-aerogeneradores, los cuales utilizan la energía eólica para producir energía eléctrica, libre de emisiones, para los hogares, granjas y pequeñas empresas. Con esta tecnología simple y cada vez más popular, las personas pueden generar su propia energía y reducir sus facturas de energía al tiempo que ayuda a proteger el medio ambiente. (Small Wind Energy, 2015)

¿Cuál es el panorama en nuestro país?

México cuenta con un potencial eólico reconocido a nivel mundial. Si bien sólo se ha comenzado a explotar en años recientes, el sector muestra ya un alto dinamismo y competitividad. Prueba de ello son los más de 1,900 MW en capacidad instalada, en

producción independiente y autoabastecimiento, como los más de 5,000 MW en distintos niveles de desarrollo. (El potencial eólico mexicano, 2012)

El gobierno de México, a través de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE, Nov. 2008), establece la instrucción a la Secretaría de Energía de fijar la meta de una participación máxima de 65% de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica para el año 2024, 60% para el 2035 y 50% para el 2050. De igual manera, la Ley General de Cambio Climático (Jun. 2012), ha establecido el objetivo de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 30% para el año 2020 y en 50% para el 2050. (Eólica, 2014)

Por la situación que existe con relación a la energía eólica a pequeña escala y el gran potencial que tiene nuestro país para las energías renovables surge la inquietud (tema de investigación) por saber cuál es el impulso que tendría esta tecnología con las condiciones climatológicas que existen en la Ciudad de México. De esta inquietud nace la siguiente hipótesis:

“Los aerogeneradores son una opción que puede sustituir a las fuentes de energía eléctrica tradicionales en México”

La hipótesis se comprobará con los datos de medición de las variables registradas por los equipos especializados, realizadas dentro de la fase de experimentación.

El objetivo que persigue este tema de investigación es:

- Implementar el uso de la energía eléctrica por generación eólica para el sector inmobiliario en lugar de la generación de energía eléctrica por métodos tradicionales como son la quema de combustibles fósiles, caídas de agua entre otros.

La justificación de la tesis es la siguiente:

En México actualmente la generación eólica se encuentra en forma de parques eólicos y la solar se emplea básicamente para electrificación rural y aplicaciones domésticas específicas. En este trabajo se trata de analizar la conexión de este tipo de generación inyectada directamente a un sistema eléctrico para analizar su efecto, ya que existe un potencial importante y con posibilidades de desarrollo en muchas partes del país. Para realizar el análisis se seleccionaron los auditorios de la Unidad de Posgrado, como caso estudio, los cuales están ubicados en Ciudad Universitaria (UNAM) en la Ciudad de México.

Resumen

La condición limitada de los recursos no renovables ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía. Bajo este contexto, el uso de las energías renovables aparece como un elemento que contribuye a aumentar la seguridad energética del mundo, es decir, las energías renovables buscan generar la energía eléctrica necesaria para el consumo diario sin la utilización de los recursos limitados del planeta, así como la contaminación por la generación de la energía eléctrica.

Esta tesis presenta un panorama de la energía eólica a nivel mundial y nacional. Así como escenarios a futuro por organizaciones especializadas a nivel mundial del porcentaje de energía eléctrica que estarán generando las energías renovables.

También se menciona que la generación distribuida, enfocada en la energía eólica, es una buena opción a mediana y pequeña escala para la generación de electricidad.

A nivel nacional se menciona a partir de cuándo se empezó a utilizar la generación distribuida y se indica el por qué es tan importante esta tecnología en nuestro país y se dan algunas recomendaciones para impulsarla.

Al final se analiza la viabilidad de la energía eólica a pequeña escala con un caso estudio en la Ciudad de México.

CAPÍTULO 1

Planteamiento del problema



1. Planteamiento del problema

En la actualidad, el sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países, debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento del producto interno bruto y la demanda de energía de cada país. El incremento en el nivel de vida de la población, ha generado un aumento persistente en el suministro de energía eléctrica a nivel mundial teniendo un aumento de un 150% entre 1971 y 2013, basándose principalmente en los combustibles fósiles. A pesar del crecimiento del uso de las energías renovables, como la nuclear e hidroeléctrica, la participación de los combustibles fósiles en el suministro de energía eléctrica a nivel mundial relativamente no ha mostrado cambios durante los últimos 42 años. La condición limitada de los recursos no renovables ha obligado a buscar una mayor eficiencia en la producción y el uso de la energía; así como a desarrollar el potencial del uso de fuentes de energía no fósiles. Bajo este contexto, el uso de las energías renovables aparece como un elemento que contribuye a aumentar la seguridad energética del país, al diversificar su matriz energética ante la expectativa del encarecimiento y la volatilidad de las fuentes convencionales de energía, solucionar el tema de la crisis energética, así como a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y las graves consecuencias del cambio climático provenientes del uso de energéticos fósiles.

Dentro del contexto internacional, La Agencia Internacional de Energía ha identificado que el sector energético contribuye con aproximadamente 82% de las emisiones de gas de efecto invernadero en el mundo. En su mayoría, se derivan de la liberación de CO₂ durante la combustión, como resultado de la oxidación de carbono en los combustibles. Destaca el incremento de 5.3% de emisiones de CO₂ relacionadas con el uso y producción de energía entre 2010 y 2011. No obstante, también existen emisiones fugitivas producidas por la liberación de gases como el metano (CH₄). La creciente demanda mundial de energía a partir de combustibles fósiles juega un papel clave en la tendencia ascendente de las emisiones de CO₂. Desde la revolución industrial, las emisiones anuales de CO₂ procedentes de la combustión de combustible han aumentado dramáticamente de cero a más de 32 Giga toneladas de CO₂ (GtCO₂) en 2013. (fig. 1)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-



Figura 1. Grafica del crecimiento de CO2.

Fuente: International Energy Agency Statistics 2015. CO2 emissions from fuel combustion.

Para el año 2013, las emisiones globales de CO2 alcanzaron 32.2 Giga toneladas de CO2, un aumento del 2.2% respecto a los niveles de 2012 (0.6%). Las emisiones de los países del mundo continuaron incrementando un 4.0%. Durante este año, las emisiones de CO2 procedentes de la combustión de carbón aumentaron de 3.4% a 14.8 Giga toneladas de CO2. Actualmente, el carbón llena gran parte de la creciente demanda de energía de los países en desarrollo (como China e India), donde la producción industrial de alto consumo energético está creciendo rápidamente y grandes reservas de carbón existen con reservas limitadas de otras fuentes de energía. (Kubecek, 2015) En lo que respecta a México las emisiones de Co2 por la combustión de carbón equivale a: 0.053 GtCO2, de los cuales el 0.065 GtCO2 son de las industrias y la construcción y el 0.017 GtCO2 son del sector residencial. En la siguiente gráfica podemos observar que dos terceras partes de las emisiones de CO2 a nivel global son producidas por 10 países, de los cuales China produce el 28% y USA genera el 16% (fig. 2)

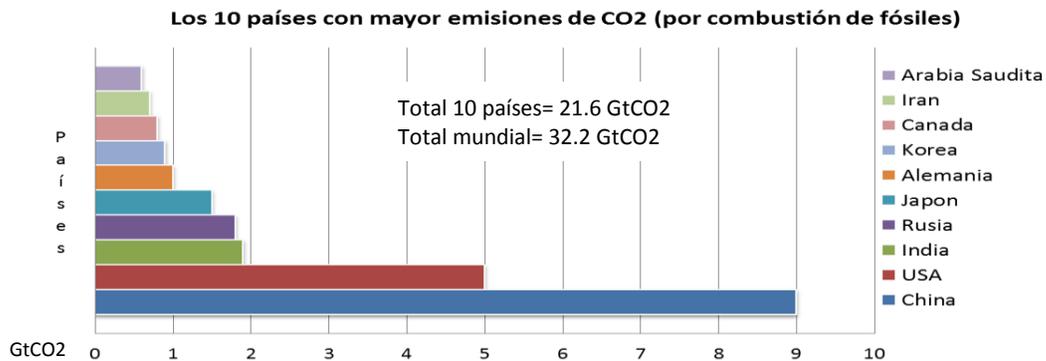


Figura 2. Grafica de los 10 países con mayor emisión de CO2.

Fuente: International Energy Agency Statistics 2015. CO2 emissions from fuel combustion.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Mientras que La Agencia Internacional de Energía estima que en los próximos 25 años la demanda total de energía eléctrica a nivel mundial se incrementará en casi un tercio. Se estima que el porcentaje de generación de energía eléctrica a partir de las energías renovables a nivel mundial pase del 3% en 2009 al 15% en 2035. Por otro lado la Secretaria de Energía (México), señala que en el año 2013, las emisiones de CO2 asociadas a la generación de electricidad, ascendió a 13,440.9 Millones de toneladas (Mt), siendo el carbón el combustible más contaminante. Si la generación de energía eléctrica sigue con la misma tendencia se espera un incremento de 6,551.0 Mt, alcanzando para el año 2040, 19,992.0 Mt. (Tabla 1) (Prospectivas del sector eléctrico 2015-2029, 2015)

	Historia		CPS			450 S			Tmca (%)	
	1990	2013	2020	2030	2040	2020	2030	2040	CPS	450
Total CO₂	20,578.7	31,645.8	34,209.4	39,153.3	44,140.9	31,458.1	24,872.1	18,777.2	1.2	-1.9
Carbón	8,397.6	14,412.8	15,488.3	17,962.5	20,191.4	13,562.4	8,219.2	4,564.2	1.3	-4.2
Derivados del Petróleo	8,504.5	10,775.1	11,488.4	12,508.9	13,671.2	10,947.5	9,458.8	7,574.4	0.9	-1.3
Gas	3,676.6	6,457.8	7,232.8	8,681.9	10,278.4	6,948.2	7,194.1	6,638.6	1.7	0.1
Por Generación	7,579.2	13,440.9	14,403.8	17,114.3	19,992.0	12,466.8	7,601.1	3,968.2	1.5	-4.4
Carbón	5,000.8	9,780.5	10,715.3	12,881.0	15,000.3	8,983.0	4,367.7	1,536.0	1.6	-6.6
Derivados del Petróleo	1,211.7	900.6	733.0	570.9	502.0	665.8	367.8	263.9	-2.1	-4.4
Gas	1,366.8	2,759.8	2,955.4	3,662.4	4,489.7	2,818.1	2,865.6	2,168.3	1.8	-0.9
Consumo Final total	12,036.3	16,566.8	18,005.5	20,128.7	22,105.7	17,272.0	15,828.1	13,646.2	1.1	-0.7
Carbón	3,253.6	4,250.5	4,431.2	4,726.1	4,831.8	4,257.2	3,601.4	2,833.9	0.5	-1.5
Derivados del Petróleo	6,775.0	9,317.3	10,138.2	11,320.8	12,539.6	9,691.2	8,636.3	6,978.8	1.1	-1.1
Transporte	4,430.6	7,097.5	7,845.3	8,023.9	10,242.2	7,509.9	6,769.7	5,354.2	1.4	-1.0
del cual: Bunkers	630.2	1,102.3	1,222.0	1,452.7	1,742.8	1,144.9	1,111.3	1,088.5	1.7	0.0
Gas	2,007.7	2,999.0	3,436.1	4,081.8	4,734.3	3,323.7	3,590.4	3,833.5	1.7	0.9

Tabla 1. Tabla con los datos de emisiones de CO2 a nivel mundial para el 2040.

Fuente: Prospectiva Sector Eléctrico 2015-2029

En el año 2013 en México la producción de combustibles fósiles y su uso generaron poco más del 82.7% del total de las emisiones de gas de efecto invernadero y más de tres cuartas partes de las emisiones de CO2. México presenta la tasa de crecimiento anual más alta entre los países de América Latina con el 3.4%, esto se debe al rápido crecimiento e incremento de la actividad industrial con más del 50% del total de la demanda. (fig. 3)

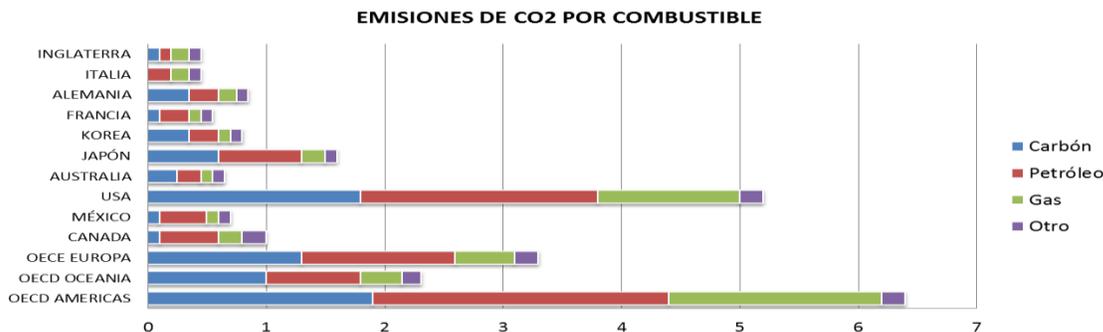


Figura 3. Gráfica de las emisiones de CO2 por la combustión de combustibles (2013).

Fuente: Prospectiva Sector Eléctrico 2015-2029

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La producción y el consumo de energía generan efectos negativos en el medio ambiente, cuya manifestación es el calentamiento global por emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación atmosférica, lluvia ácida, contaminación por desechos de hidrocarburos o radiactivos, entre otros. La prevención, contención o compensación adecuada de éstos permitirán alcanzar un desarrollo sustentable.

La eficiencia energética busca ofrecer el mismo servicio con un menor consumo de energía. Es una oportunidad para reducir el gasto en insumos energéticos, aumentar la competitividad del sistema energético, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y conservar los recursos energéticos de nuestro país. A pesar de contar con reservas de combustibles fósiles, es imprescindible impulsar el uso de fuentes alternativas de energía, aprovechando el importante potencial que tenemos para la generación de energía a partir de fuentes renovables como son:

- a) la solar,
- b) la eólica,
- c) la hidráulica,
- d) la biomasa.
- e) la geotérmica y
- f) la mareomotriz.

Las acciones estratégicas que se han aplicado, permitirán promover el desarrollo regional, propiciando un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, reduciendo la contaminación ambiental y mejorando la calidad de vida.

En México, se estima un incremento en la demanda de energía del 3.4% promedio anual para el periodo 2012-2026, el cual deberá ser acompañado por una ampliación y modernización de la red de infraestructura eléctrica y de hidrocarburos. Entre el período 2004-2014, se incrementó el consumo nacional de energía eléctrica a una tasa promedio de 2.5% anual, para ubicarse en 241,571 GWh (2014), el sector industrial concentró el 56.9%, vinculado al crecimiento de las grandes y medianas industrias a consecuencia de los impulsos económicos que se han presentado, siendo el sector manufacturero uno de los más favorecidos. (fig. 4)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

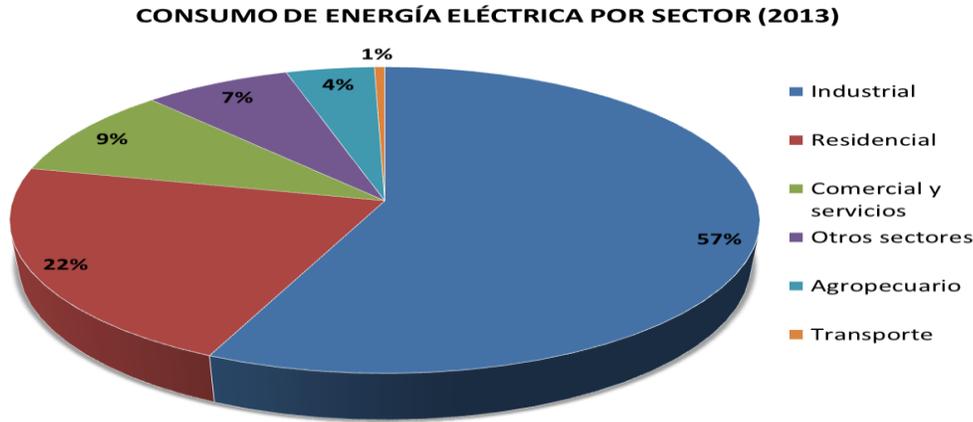


Figura 4. Gráfica del consumo de energía eléctrica por sector (2013).

Fuente: Prospectiva Sector Eléctrico 2015-2029

En 2014, la generación total de energía se ubicó en 301,462.0 GWh, de los cuales el 85.6% provino del servicio público. A lo largo de diez años, la generación mediante fuentes fósiles como el carbón, gas natural, combustóleo, entre otros, presentaron una reducción en la participación de generación bruta con tres puntos porcentuales, para concentrar 82.1% del total, mientras que la generación mediante fuentes no fósiles fue de 17.9%. Para la generación de electricidad se tiene que, en 2014, esta fue de 301,462.0 GWh y se espera que, para el año 2029, se incremente 56.1%, para ubicarse en 470,431.7 GWh. Se observa una disminución en la participación de tecnologías térmico convencional y por consiguiente, un incremento de las tecnologías con energías limpias, para concentrar al final del período de proyección, el 42.6% del total de generación eléctrica.

Es importante mencionar que el uso de energías renovables está en ascenso. Esto quiere decir, que se están realizando importantes cambios regulatorios con el objeto de fomentar el uso de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica, dándole prioridad a las energías eólica y solar.

En el sector residencial, el objetivo principal es lograr cambios en los patrones de consumo mediante el establecimiento de una conciencia de ahorro en la población. En este sector, las oportunidades de ahorro en consumo de energía están dirigidas a la reducción del consumo por iluminación, en electrodomésticos y equipos electrónicos. Con este fin se

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

desarrollaron varios programas para promover el ahorro de energía en los hogares. El primero de ellos es el Programa de Sustitución de equipos electrodomésticos para el ahorro de energía eléctrica, llamado “Cambia tu equipo viejo por uno nuevo”, en términos generales lo que se quiso lograr con este programa fue el hecho de que las familias cambiarán sus electrodomésticos viejos por nuevos principalmente refrigeradores. Gracias a este programa se han podido establecer las condiciones mínimas necesarias para que más de un millón y medio de familias reduzcan su consumo energético, El ahorro total de energía que se logró con este programa es el equivalente a 11,527 GWh. Otro de los programas que se implementó es el Programa de sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas, llamado “Luz Sustentable”, el cual ha permitido el cambio de más de 17 millones de focos. Este programa, de manera conjunta con la Norma de iluminación para lámparas incandescentes autoalabastradas asegurará que no se vendan más focos ineficientes. Finalmente, en este sector destaca el financiamiento de viviendas verdes en el que se incluyen diferentes tecnologías como el aislamiento, los calentadores de agua eficiente y/o solar, y los sistemas para ahorro de agua, dependiendo de la zona climática en la que se localice la vivienda.

En lo que corresponde a la modalidad de autoabastecimiento, se estima que para el 2026 se incorporen 10,228 MW, con fuentes renovables de energía distribuidas de la siguiente forma: 81.6% (8,352 MW) en plantas eólicas, 7.36% (752 MW) con solar fotovoltaico, 6.9% (701 MW) con pequeña, mini y micro hidráulica y 4.1% (422 MW) con bioenergía.

Por su parte, la participación de la generación distribuida, con base en las proyecciones elaboradas por la Secretaría de Energía, tendrá una incorporación en capacidad de 2,156 MW, con 54.8% (1,170 MW) en solar fotovoltaica, 21.1% (461 MW) en plantas eólicas, 6.35% (139 MW) en pequeña, mini y micro hidráulicas, 15.8% (345 MW) en plantas operadas con bioenergía, 0.7% (16 MW) en solar de concentración y 1.15% (25 MW) en geotermia. Esto permitirá cumplir la meta de largo plazo establecida en la LAERFTE y en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026 de incrementar la participación de energías limpias en la de generación eléctrica a 35% del total para el 2026.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

México dispone de un potencial renovable indiscutible, con un amplio portafolio de recursos (eólico, solar, geotérmico, biomasa e hídrico). Derivado de lo anterior, deben ser impulsadas las diferentes tecnologías para su aprovechamiento, en sus diferentes etapas de desarrollo, de modo que estos recursos puedan ayudar en la transición de la matriz energética y la eficiencia del uso de recursos no renovables.

El problema principal a resolver es suministrar la cantidad mínima necesaria de energía eléctrica a un inmueble para cubrir la demanda de consumo de luz de éste. Con el objetivo de que el inmueble pueda funcionar el mayor tiempo posible con la energía generada y con esto reducir el consumo de la energía eléctrica suministrada por el proveedor y como consecuencia se tendrá una disminución en costos. Esto se logrará con el correcto funcionamiento de un modelo operativo, el cual está formado por dos equipos: miniaerogenerador (viento), operando a 3 m/seg., y una celda fotovoltaica (sol), el cual estará conectado al inmueble para el suministro de la energía eléctrica generada. Este modelo operativo se instalará en la azotea para poder captar al máximo las condiciones climatológicas del sitio, ya que no habrá algún elemento que intervenga en el funcionamiento de este modelo.

A continuación menciono algunas recomendaciones que considero importantes para que la generación distribuida tenga mayor impulso en nuestro país.

Regulación:

- *Competencia.* La regulación técnica relacionada a redes inteligentes es de vital importancia para impulsar el desarrollo de sistemas de generación distribuida. Para ello se requiere de protocolos de comunicación abiertos, un mercado en competencia para la importación y manufactura de instrumentos de medición, y el desarrollo de sistemas de información y gestión.
- *Normatividad.* Uno de los puntos clave para el desarrollo de generación distribuida es el diseño de normas técnica para la construcción, operación y mantenimiento tanto de generación distribuida como de redes inteligentes.

Información:

- *Generar certidumbre referente a la expansión de la red.* La instalación de capacidad y generación asociada requiere de infraestructura para su transmisión y distribución, por lo que contar con un plan de crecimiento de la red genera certidumbre para los actores y promueve el desarrollo de la generación distribuida.
- *Información clara referente a costos, capacidad y estándares de interconexión.* La reglamentación deberá ser clara sobre los costos de interconexión para este tipo de tecnología, sobre los requerimientos técnicos que incluyen la instalación de transformadores o subestaciones necesarias para mantener el voltaje requerido para vender electricidad de pequeños generadores. Además de contar con información referente a la capacidad de transmisión e interconexión de la red eléctrica.

Incentivos:

- *Incentivos para municipios que promuevan la generación distribuida.* Existen casos de éxito como el de Bioenergía de Nuevo León, que con una capacidad instalada de 16 MW aprovecha el biogás generado por los desechos urbanos para la producción de energía. Las debilidades institucionales y capacidades de los municipios han sido un gran obstáculo para replicar estos casos en otras ciudades, por lo que es necesario crear incentivos para que los gobiernos estatales y municipales impulsen el desarrollo de redes inteligentes y sistemas de generación distribuida a partir de energías renovables. Cabe mencionar que la Ley de Hidrocarburos ya contempla esquemas similares para la producción de estos en las entidades.
- *Modelos de negocio bien diseñados.* Para esto es necesario considerar la cadena de suministro del proyecto, analizar y seleccionar la tecnología de generación más adecuada, además de considerar la capacitación requerida para mantener en funcionamiento del sistema. El cálculo de los beneficios mutuos de todos los actores involucrados es importante para garantizar la sustentabilidad del sistema. Sin modelos de negocios confiables no es posible asumir el riesgo.
- *Esquemas de financiamiento.* La inversión requerida para desarrollar sistemas de generación distribuida en zonas rurales implica incorporar criterios específicos para que pequeños productores puedan pagar la inversión inicial en la tecnología.

CAPÍTULO 2

La Energía



2. La energía

2.1 Tipos de energía

¿Qué es la energía?

La energía es la capacidad de producir algún tipo de trabajo o poner algo en movimiento. Si bien, el término puede definirse desde una variedad amplia de enfoques. (Fernández Salgado, 2011)

La energía se clasifica según la fuente en cómo se obtiene en:

- Energía no renovable y
- Energía renovable.

- Energía no renovable: es aquella que está almacenada en cantidades inicialmente fijas, comúnmente en el subsuelo. A medida que se consume un recurso no renovable, se va agotando. (Talayero Navales, 2008)

Ejemplo de energía no renovable:

- a) La energía fósil (petróleo, carbón y gas natural)

Ejemplo de energía con riesgo a la población:

- b) La energía nuclear

a) Energía fósil: es aquella que se obtiene de los combustibles originados por la descomposición parcial de materia orgánica de hace millones de años transformada por la presión y temperatura debidas a las capas de sedimentos acumulados sobre él. Este proceso de formación de los combustibles fósiles necesitó de miles de años para su formación, mientras que este carbono retornó en gran parte a la atmósfera en los últimos 300 años. Este carbono, al quemarse, pasa a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, el principal componente del efecto invernadero.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

El carbón fue el primer tipo de combustible fósil en ser utilizado como energía comercial. Siguió el petróleo y por último el gas natural. Hoy en día los tres tipos coexisten en nuestro modelo de consumo de energía, con el carbón estabilizado, el petróleo en crecimiento y el gas natural en franca expansión.

Ventajas:

- Son muy fáciles de extraer (casi todos).
- Su gran disponibilidad.
- Su gran continuidad.
- Son muy baratas (menos algunos como el petróleo).

Desventajas:

- Su uso produce la emisión de gases que contaminan la atmósfera y resultan tóxicos para la vida.
- Se puede producir un agotamiento de las reservas a corto o medio plazo
- Al ser utilizados más que otros productos que podrían haberse utilizado en su lugar. (Méndez Muñiz, 2012)
- Existencia de huecos en el planeta por la extracción del combustible.

b) Energía nuclear: la energía nuclear es la energía que se obtiene al manipular la estructura interna de los átomos. Pero primero la energía debe ser liberada. Ésta energía se puede obtener de dos formas: fusión nuclear (la unión de dos átomos) y fisión nuclear (la división del núcleo). En la fusión nuclear, la energía se libera cuando los átomos se combinan o se fusionan entre sí para formar un átomo más grande. Así es como el Sol produce energía. En la fisión nuclear, los átomos se separan para formar átomos más pequeños, liberando energía. Las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear para producir electricidad.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Ventajas:

- Produce mucha energía de forma continua
- No genera emisiones de gases de efecto invernadero durante su funcionamiento.

Desventajas:

- Su combustible es limitado.
- Genera residuos radioactivos durante cientos de años.
- Puede ocasionar graves catástrofes medioambientales en caso de accidente.
- Algunas de ellas no están suficientemente desarrolladas tecnológicamente. (Méndez Muñiz, 2012)

- Energía renovable: es aquella que se produce de manera continua y son inagotables. Además tienen la ventaja de ser autóctonas, esto ayuda a los países en desarrollo a tener otras opciones para generar energía eléctrica. (Méndez Muñiz, 2012).

Ejemplos de energía renovable:

- | | |
|---------------|----------------|
| a) Hidráulica | d) Mareomotriz |
| b) Biomasa | e) Eólica |
| c) Geotérmica | f) Solar |

a) Energía hidráulica: tiene su origen en el ciclo del agua, generado por el Sol. El Sol evapora el agua de los mares, lagos etc. Esta agua cae en forma de lluvia y nieve sobre la tierra y vuelve hasta el mar donde el ciclo se reinicia. La energía se obtiene a partir de la energía potencial, es decir, el movimiento del agua entre dos puntos. Esta masa de agua que se precipita desde la parte superior de la presa pasa por las aspas de una turbina (que se encuentra en la parte inferior de la presa) poniéndolas en movimiento, el eje de la turbina a su vez va fijado al eje de un alternador, el cual también gira, convirtiendo la energía cinética del movimiento de las aspas en energía eléctrica.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Ventajas:

- no contamina
- es muy abundante

Desventajas:

- sus infraestructuras son muy caras
- depende de los factores climáticos.

(Méndez Muñiz, 2012)

b) Biomasa: es la energía renovable con mayor potencial, ya que la fotosíntesis permite convertir la energía solar en materia orgánica de la que se obtienen combustibles (aceites, alcoholes, plantas de digestión de residuos y madera).

Ventajas:

- no emite gases que provocan el efecto invernadero
- tiene contenido de azufre (nulos) por lo que la emisión de dióxido de azufre es mínima (lluvia ácida)

Desventajas:

- el rendimiento de las calderas de biomasa es inferior al de las que usan combustible fósil
- se necesita mayor cantidad de biomasa para conseguir la misma cantidad de energía que con otras fuentes. (Méndez Muñiz, 2012)

c) Energía geotérmica: es la que se encuentra en el interior de la Tierra en forma de calor, como resultado de la desintegración de elementos radioactivos o del calor permanente que se originó en los primeros momentos de formación del planeta. Se manifiesta por medio de procesos geológicos como volcanes y/o géiseres (que expulsan agua caliente o las aguas termales). A partir de una profundidad aproximada de dos metros, la temperatura de la Tierra no sufre cambios bruscos de temperatura. Este efecto es aprovechado para fines térmicos en sistemas basados en bomba de calor, captando la energía mediante una red de tubos enterrados en el plano horizontal, o bien mediante una captación en vertical a profundidades mayores. La conversión de la energía geotérmica en electricidad consiste en aprovechar el calor de la Tierra para calentar un volumen de agua para convertirla en vapor. Este vapor se concentra en una turbina para hacer girar sus aspas. El eje de la turbina está fijado al eje del alternador, el cual tiene la función de transformar esta energía cinética (rotación) en energía eléctrica.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Ventajas:

- es respetuosa con el Medio ambiente (mínimo impacto medioambiental).
- minimiza la dependencia energética (la energía almacenada en un kilómetro cúbico de roca caliente a 250°C equivale a 40 millones de barriles de petróleo)
- Una energía perfecta para su uso residencial (generación de electricidad y calor).

Desventajas:

- emisión de ácido sulfhídrico que en grandes cantidades puede ser letal
 - emisión de CO₂
 - contaminación de aguas próximas.
- (Méndez Muñiz, 2012)

d) Energía solar: es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico). La conversión térmica de alta temperatura consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido. Para calentar el líquido se emplean unos dispositivos llamados colectores. La conversión fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas solares formadas por células fotovoltaicas (de silicio o de germanio).

Ventajas:

- escaso impacto ambiental
- no produce residuos perjudiciales para el medio ambiente
- no hay dependencia de la compañías suministradoras.

Desventajas:

- Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones.
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno. (Méndez Muñiz, 2012)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

e) Mareomotriz: se refiere a la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica.

Ventajas:

- bajo costo de materia prima
- disponible en cualquier clima y época del año.

Desventajas:

- impacto visual y estructural sobre el paisaje costero, con posible efecto negativo sobre la flora y la fauna
- dependiente de la amplitud de mareas
- traslado de energía muy costoso. (Méndez Muñiz, 2012)

f) Eólica: es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire, es decir, del viento. Se considera una forma indirecta de energía solar. Entre el 1% y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. El viento se produce por la diferencia de temperatura existente en las distintas capas de aire de la atmósfera. Estas masas de aire a distinta temperatura generan diferencias de presión. El aire se mueve de los lugares donde existe una mayor presión a los lugares donde la presión es menor. Este movimiento de las masas de aire se conoce como viento.

Ventajas:

- evita la importación de carbón, petróleo, y materiales radioactivos
- evita grandes impactos ambientales como la lluvia ácida y el efecto invernadero
- es barata y no produce residuos
- la tecnología necesaria para instalarla es sencilla
- los espacios ocupados pueden permitir la actividad agrícola.

Desventajas:

- impacto visual
- ruido
- repercute sobre la flora y la fauna. (Méndez Muñiz, 2012)

CAPÍTULO 3

**La energía eólica
(en México
y en el mundo) y
a pequeña escala
(generación
distribuida)**



3. Energía eólica en México.

México cuenta con un enorme potencial para aprovechar recursos renovables. Según el inventario Nacional de Energías Renovables, se reconoce un potencial probado y probable de generación de energía de 100,278 GWh por año, es decir, el 33% de los 301,462 GWh generados en el 2014. El potencial posible adicional sin contar la energía solar (195,278 GWh) representa el 65% de la generación de energía eléctrica del año 2014. (Prospectivas de Energías Renovables 2015-2029, 2015)

A inicios del 2013, el porcentaje de participación en la capacidad de tecnologías que utilizan fuentes fósiles como combustible fue del 72.6%, mientras que el ciclo combinado contribuyó con el 34%. A esta tecnología le siguen las plantas termoeléctricas convencionales con un porcentaje del 22.4% y las restantes con el 16.2% de la capacidad instalada.

La tecnología a partir de fuentes no fósiles representa el 27.4% de la capacidad instalada del servicio público, destacando la energía hidroeléctrica con el 21.6%, mientras que la geotérmica, eólica, nuclear y solar sumaron un 5.7%. (Prospectiva del sector eléctrico: 2013-2027, 2013)

El presidente de la Asociación Mexicana de la Energía Eólica, Adrián Ecofet Cedeño, explicó que al cierre del año 2014 se contaba con una capacidad instalada de 2,551 MW, con 31 parques eólicos en operación en los estados de: Oaxaca, Baja California, Chiapas, Jalisco, Tamaulipas, San Luis Potosí y Nuevo León. (Cruz Serrano, 2014)

Para este mismo año existen seis proyectos que ya están en proceso de construcción que se tienen programados terminar este año y que añadirán a la red eléctrica del país 732 MW de capacidad instalada. En la siguiente tabla se puede ver la generación y el potencial para la generación de energía eléctrica a base de energías renovables en 2014. (Tabla 2)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

	Generación 2014	Potencial Probado	Potencial Probable	Potencial Posible
Hidroeléctrica	38,822	4,457	23,028	44,180
Eólica	6,426	15,307	-	87,600
Geotérmica	6,000	1,932	45,207	52,013
Solar	85	8,171	-	6,500,000
Biogás	148	728	391	11,485
Oceánica			1,057	
TOTAL	51,481*	30,595	69,683	>195,278**

Tabla 2. Datos con la generación actual y posible de energía eléctrica a base de energías renovables (GWh/año).

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER).

Las siguientes gráficas muestran la distribución del potencial probado y probable por fuente de energía renovable en las diferentes entidades del país. (fig. 5 y 6)

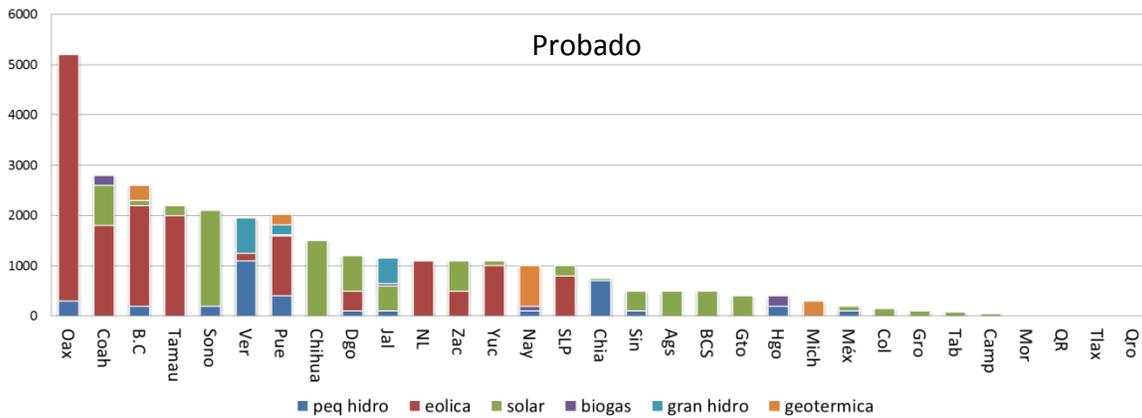


Figura 5. Gráfica con el potencial (probado) de las energías renovables por entidad (GWh/año).

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER).

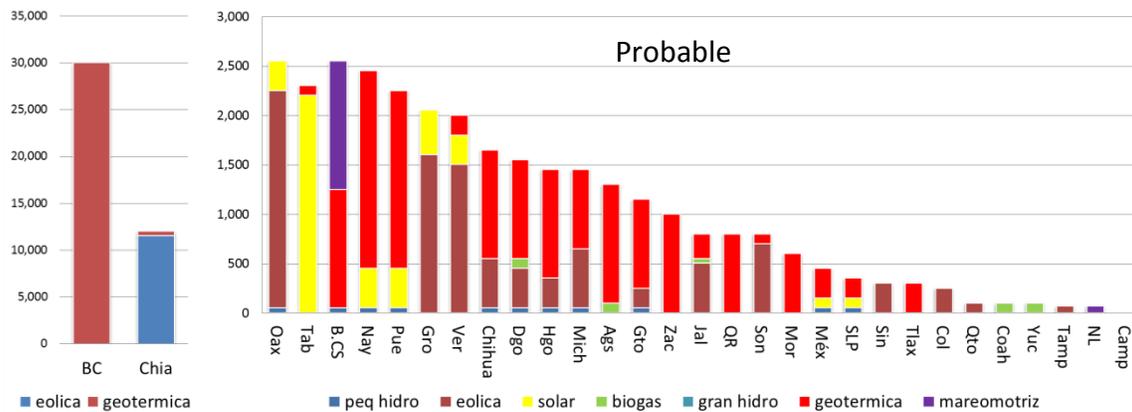


Figura 6. Gráfica con el potencial (probable) de las energías renovables por entidad (GWh/año).

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER).

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La dinámica de crecimiento de la capacidad instalada eólica ha mostrado tasas de crecimiento exponenciales en los últimos 4 años. Esta tendencia permite esperar que la energía eólica aporte la mayor cantidad de energía renovable en los próximos años. La generación de energía eléctrica fue de 6,426 GWh, lo que equivale al 54% más generados en el años 2013 (4,185GWh), aportando el 2.8% de la generación de energía eléctrica total del país. (fig. 7) (Prospectivas de Energías Renovables 2015-2029, 2015)

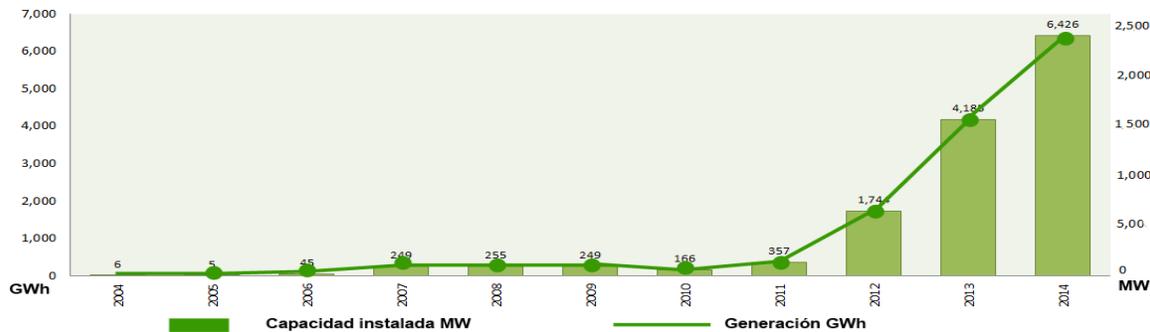


Figura 7. Gráfica con la capacidad instalada y generación bruta de la energía eólica.

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER).

Para el primer semestre del año 2015 la generación de energía eléctrica producida por energías renovables fue de 27,301.7 GWh y se puede observar una notable disminución en la participación de la energía hidroeléctrica (26.2%), sin embargo tecnologías como la geotérmica, eólica y fotovoltaica compensaron la participación al aumentar su contribución. Por su parte la energía eólica creció 24.7%. En este mismo año entraron en operación dos nuevos parques eólicos, uno en el estado de Oaxaca, con una capacidad de 102 MW y el segundo en el estado de Puebla con 33 aerogeneradores (PIER II). (line, 2015)

La Secretaria de Energía informó que para Junio del 2015 la capacidad de generación de energía eléctrica mediante energías renovables sumó 16,953.2 MW, lo cual representa el 25.3% de la capacidad de generación total a nivel nacional. La mayor parte de la capacidad continua dominada por la generación hidroeléctrica 12, 453.8 MW (18.6%), seguida por los parques eólicos que contribuyen con 2,760.3 MW (4.1%).

Para el cierre del 2015 México cuenta con 3,073 MW de capacidad instalada en energía eólica. (Fried, Shukla, Sawyer, & Sven, 2016)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

A continuación menciono las Leyes y modelos más importantes que existen actualmente en nuestro país en materia de energía relacionadas con energías renovables:

a) Ley de Transición Energética (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de Diciembre de 2015). Regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

b) Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo.

c) Modelo de contrato de interconexión en pequeña y mediana escala.

- Instrumento regulatorio elaborado por la Comisión Reguladora de Energía, para promover e impulsar el desarrollo de proyectos con fuentes de energía renovable o sistemas de cogeneración. Para los proyectos a pequeña escala la capacidad de éstos será de un máximo de 30 kW y de 500 kW para los de mediana escala. En ambos casos no se requiere de un permiso de generación eléctrica, siempre y cuando los proyectos no tengan una capacidad mayor a los 500 kW.

Programas y Normas Internacionales para impulsar las energías renovables:

d) Créditos para la Eficiencia Energética y el Autoabastecimiento de Energías Renovables, operado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Apoyar la introducción de proyectos de energía limpia en Latinoamérica y el Caribe.

e) Mitigación de emisiones mediante energías renovables. Donaciones a los países en desarrollo y países con economías en transición para proyectos relacionados con la biodiversidad, el cambio climático.

f) Programa de donaciones. Apoyar al gobierno de México en el desarrollo e implementación de estrategias para el desarrollo bajo en emisiones y procesos de planificación de las entidades federativas ante el cambio climático.

g) Protocolo de Kioto.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

- h) ISO 5001: Sistemas de gestión de la energía.* Tiene como finalidad proporcionar a las organizaciones un reconocido marco de trabajo para la integración de la eficiencia energética en sus prácticas de gestión.
- i) ISO 13153:2012:* Establece el marco referencia para el diseño de edificios unifamiliares, comerciales y residenciales para ahorrar energía.
- j) "Programa IV sobre la Promoción de la Energía Limpia y Eficiencia Energética" y el "Programa de Vivienda Sustentable II Ecocasa II":* firmados en el año 2016, entre el Banco Nacional de Comercio Exterior, Sociedad Nacional de Crédito de los Estados Unidos Mexicanos y Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).
- k) Cumbre de Líderes de América del Norte:* acuerdo entre Canadá, Estados Unidos y México, para lograr la meta de producir el 50 por ciento de su energía eléctrica a través de fuentes limpias para 2025.
- l) Acuerdo de entendimiento sobre cooperación en el sector energético (2016):* firmado entre Italia y México con el fin de promover las energías renovables, biocombustibles y extracción sostenible de hidrocarburos.
- m) Acuerdo de energías limpias (2014):* firmado entre California y México para impulsar la investigación y desarrollo de proyectos de infraestructura en materia de energía limpia y eficiente.
- n) Acuerdo de entendimiento sobre cooperación energética (2013):* firmado por los titulares de la Secretaría de Energía (Sener) y de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reformas de la República Popular de China.
- o) Acuerdo de Paris (2016):* firmado por 109 países para evitar el calentamiento global e impulsar el uso de las energías renovables.

Si revisamos la pirámide de Kelsen podemos observar que en el escalón que se encuentra en la parte superior (punta) de la pirámide está ubicada la “Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos”, debajo de ésta se tienen a los “Tratados Internacionales”. Esto quiere decir que los Tratados y Convenios Internacionales que están firmados por el presidente de México son de carácter obligatorio y por consiguiente se tienen que cumplir. (México, 2016)

3.1 La energía eólica en el mundo.

La carrera por las energías renovables ha pasado el punto de inflexión. Cada año el mundo está agregando más capacidad de energía eléctrica con las energías renovables que con el carbón, el gas natural y el petróleo combinado. Este cambio se produjo en 2013, cuando en el mundo se añadieron 143 Gigawatts (GW) de capacidad generados por energías renovables, frente a los 141 Gigawatts (GW) generados con nuevas plantas que utilizan combustibles fósiles, según un análisis presentado en Nueva York en la cumbre anual de Bloomberg New Energy Finance (BNEF). El cambio continuará acelerándose, y en 2030 se añadirán más de cuatro veces la capacidad de producción con energías renovables. (fig. 8)

Michael Liebreich, fundador de BNEF, dijo:

"A pesar del cambio en los precios del petróleo y el gas no va a ser un cambio sustancial de energía renovable, lo que es probable que suceda a mayor magnitud en el cambio de carbón y el gas". (Randall, 2015)

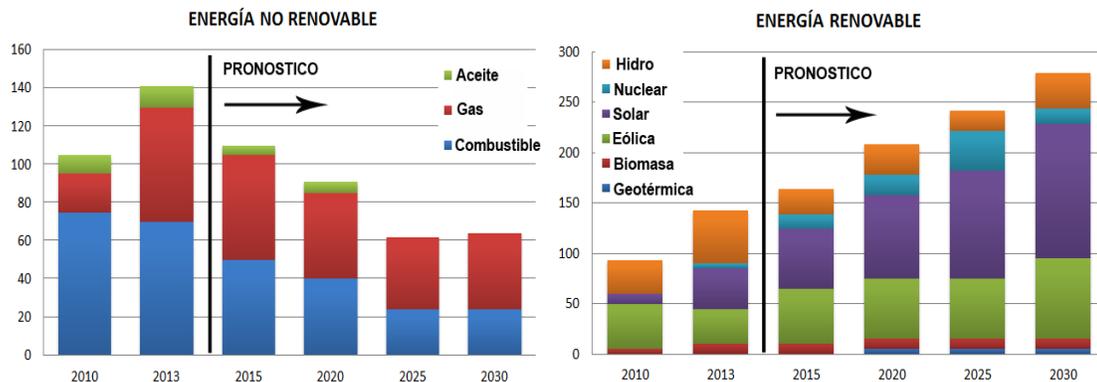


Figura 8. Grafica comparativa de la producción de energía eléctrica con energías no renovables y energías renovables.

Fuente: Bloomberg New Energy Finance

En la siguiente gráfica de Bloomberg New Energy Finance se puede observar los miles de millones de dólares que deben ser invertidos cada año con el fin de evitar las consecuencias más graves del cambio climático, representadas por un aumento de más de 2 grados centígrados. Las líneas azules representan lo que se necesita invertir; las líneas rojas muestran lo que realmente se está gastando. (fig. 9)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

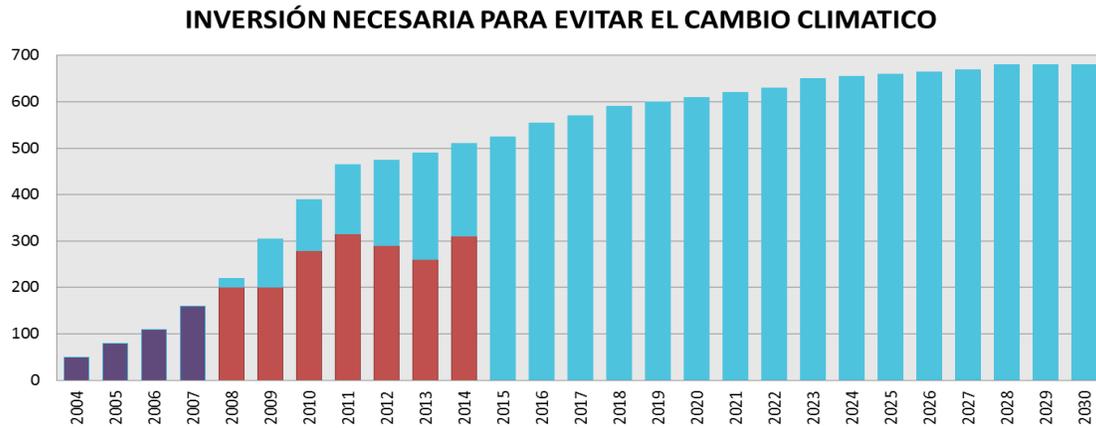


Figura 9. Grafica de inversión necesaria (mdd) para evitar el cambio climático.

Fuente: Bloomberg New Energy Finance

También en este año, cinco países instalaron más de 1 GW de energía eléctrica, China con 16.09 Gigawatts, Alemania con 3.36 Gigawatts, Inglaterra con 2.42 Gigawatts, Canadá con 1.60 Gigawatts, y los Estados Unidos en 1.09 Gigawatts. Además, nueve países aumentaron su capacidad de generación de energía eléctrica en más de un 20%, incluyendo Finlandia con un aumento del 67%, México con el 35% y el Reino Unido con un 29%. (Appleyard, 2015)

El Consejo Global de Energía Eólica (GWEC) publicó en su página que después del patrón del 2013, 2014 ha sido un año récord: instalándose 51,477 MW en el mundo, lo que equivale a un 44% y se traduce en 369,55 GW de potencia instalada total. En este año la producción de energía eléctrica a base de energías renovables (sin incluir la hidráulica) representó casi la mitad (48%) de nueva capacidad generada. (Nyquist, 2015)

Para finales de Junio del año 2015 la capacidad eólica en todo el mundo alcanzó 392,927 MW, de los cuales 21,678 MW se añadieron en los primeros seis meses del mismo año. Todas las turbinas eólicas instaladas en todo el mundo a mediados de 2015 pueden generar el 4% de la demanda mundial de energía eléctrica. Esto quiere decir que, la capacidad eólica mundial creció un 5.8% en los primeros seis meses del año 2015 (frente al 5.6% del mismo periodo del 2014 y un 5% en 2013) y un 16.8% sobre una base anual (a mediados de 2015, en comparación al 16.5% de 2014). (Gsanger, 2015)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La figura 10 nos muestra la capacidad instalada de energía eólica por región.

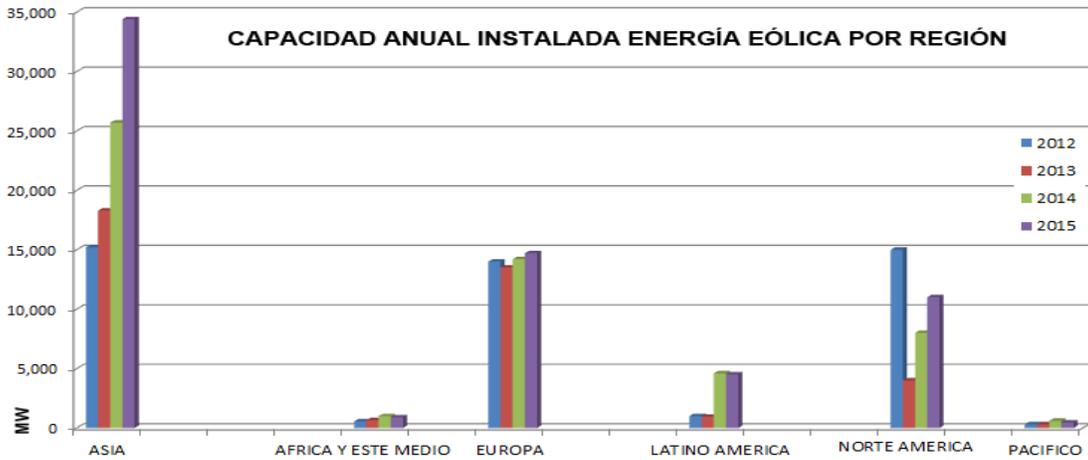


Figura 10. Grafica de la capacidad anual instalada de energía eólica por región

En el siguiente mapa del mundo se muestran los países que generan electricidad con la energía eólica y la capacidad acumulada a nivel mundial hasta el año 2016. (fig. 11)

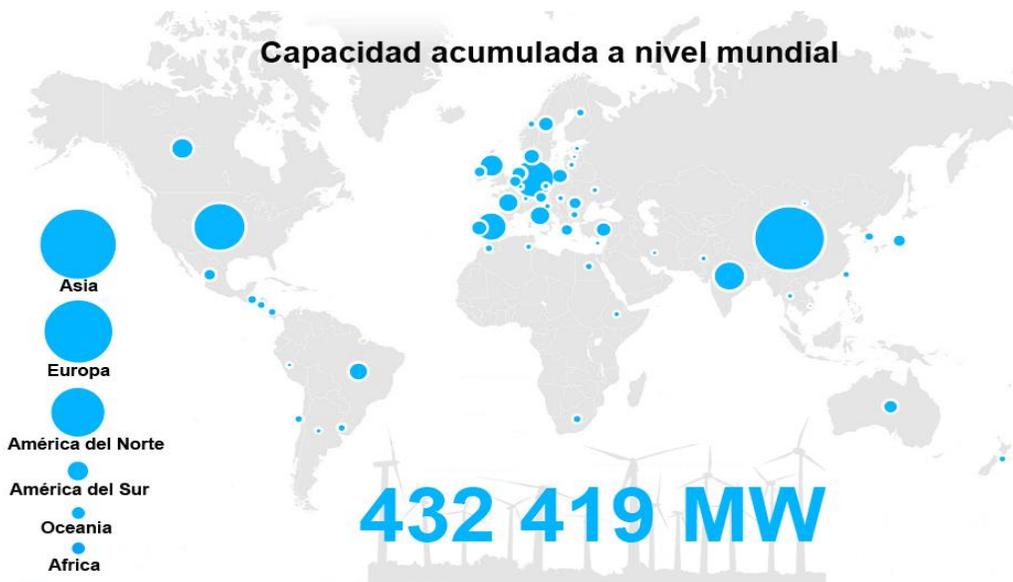


Figura 11. Mapa del mundo de los países que cuentan con energía eólica. (2016)

Imagen propia

A continuación se da información detallada de los cinco principales países en el mundo con la mayor generación de energía eléctrica a base de la energía eólica, estos países son: China, Estados Unidos, Alemania, España e India.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

China: En un país que se asocia más fácilmente a la generación de la electricidad con carbón y centrales nucleares, la energía eólica en los últimos años las ha rebasado notablemente. Las empresas de consultoría GTM Research y Azure International proyectan que China alcanzará los 140,000 MW de potencia eólica para el año 2015 y casi 250,000 MW en 2020. Sigue siendo el principal país a nivel mundial en el mercado de energía eólica, estableciendo un nuevo récord en 2014, ya que es el primer país que ha instalado más de 20 GW en sólo un año (23.196 MW), lo que representa un aumento del 45% en el mercado anual. Es el primer país del mundo en superar la marca de 100 GW. En este mismo año superó la marca de 100.000 MW. Con 36.9% de capacidad eólica instalada Asia es el continente con la mayor cantidad de energía eólica instalada a nivel mundial, superando a Europa con el 36.7% a finales de 2014. Para finales del año 2015 cuenta con una capacidad acumulada de 145 GW. En la siguiente gráfica se muestra la generación de electricidad por tipo de fuente. (fig. 12)

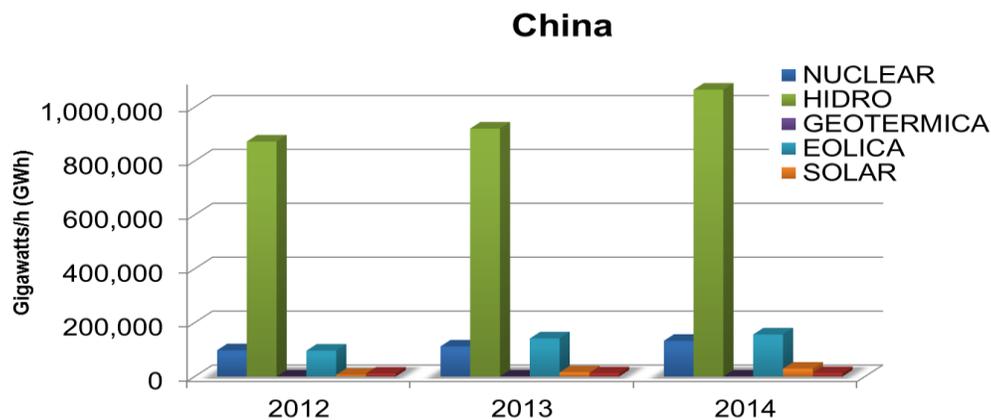


Figura 12. Gráfica con la generación de energía eléctrica por tipo de energía.

Fuente: International Energy Agency

Estados Unidos: sigue a China con la segunda posición en capacidad de generación de electricidad con energía eólica, con 60,000 MW totales, suficiente capacidad para abastecer a más de 14 millones de hogares estadounidenses. En el año 2012 se añadió más capacidad de generación de electricidad con energía eólica que con cualquier otro tipo de energía renovable (13.100 MW), incluido el gas natural. En el pasado mes de Diciembre entraron en funcionamiento 59 parques eólicos produciendo 5.200 MW. Ejemplos de esto son los estados de: Texas que cuenta con 12,200 MW y California que cuenta con 5,500 MW.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Los parques eólicos estadounidenses generaron al menos el 10% de la electricidad producida en nueve estados en 2012, a comparación de los cinco estados del año anterior. Iowa y Dakota del Sur tienen casi una cuarta parte de su electricidad a partir del viento. El parque eólico de Oregon Shepherd's Flat (puesto en servicio en 2012) es el más grande de América del Norte y genera 845 MW. La Asociación Internacional de Energía (Energy International Association), la potencia eólica de Estados Unidos creció un 7.7% en 2014, y las previsiones apuntan a un aumento del 16.1% en 2015 y se prevé otra del 6.5% para el año 2016. (Sawyer, 2015). Para 2015 cuenta con 74,471 MW de capacidad instalada. En la siguiente gráfica se muestra la generación de electricidad por tipo de fuente. (fig. 13)

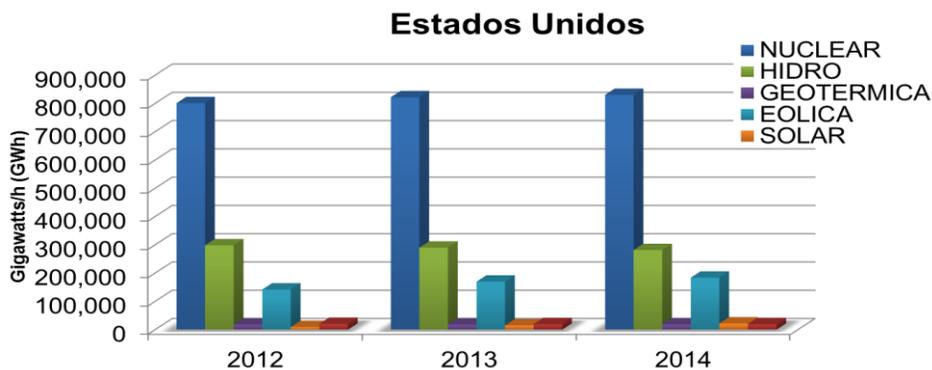


Figura 13. Gráfica con la generación de energía eléctrica por tipo de energía.

Fuente: International Energy Agency.

Alemania: se ubica en la tercera posición a nivel mundial gracias a sus 30,000 MW de capacidad eólica. La energía eólica cubre el 11% a nivel nacional. Cuatro de los estados del norte de Alemania reciben en este momento la mitad de su electricidad a partir del viento. Aun así sigue siendo el principal mercado de la energía eólica en Europa, con una nueva capacidad de 1.8 GW, lo cual suma un total de 36.5 GW. Parte de este nuevo crecimiento se debe a los cambios previstos en la legislación de energías renovables, que pueden llevar a una desaceleración del mercado eólico alemán en los próximos años. La Ley de Energías ha establecido nuevas metas para la producción de electricidad a partir de fuentes renovables para alcanzar una cuota del 40% al 45% de energías renovables para el año 2025 y del 55% al 60% en 2035 y del 80% para el año 2050. (Sawyer, 2015) Para finales del 2015 cuenta con 44.9 GW de capacidad instalada. Además cuenta además con la turbina eólica más grande del mundo, de la marca Enercon, mod. E-126, la cual tiene un diámetro del rotor de 126 metros de diámetro, la cual permite generar unos 7 MW de energía

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

eléctrica. (fig. 14) En la siguiente gráfica se muestra la generación de electricidad por tipo de fuente. (fig. 15)



Figura 14. Aerogenerador E-126

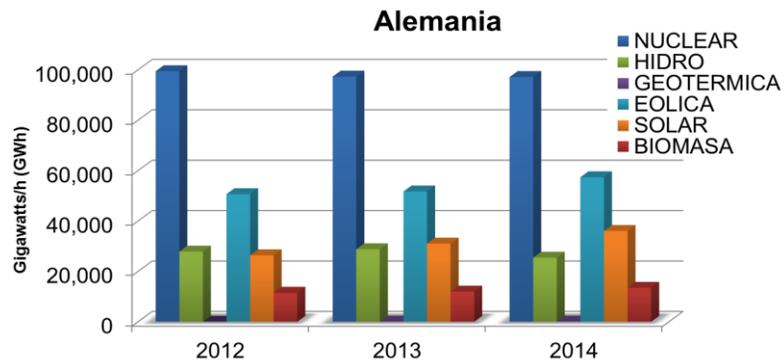


Figura 15. Gráfica con la generación de energía eléctrica por tipo de energía.

Fuente: International Energy Agency

España: la energía eólica cubre tan solo el 16% de la demanda eléctrica de este país, con una producción total de 21 GW, siendo la tercera fuente para la generación de energética eléctrica del país. España ha sido uno de los países pioneros y líderes en el aprovechamiento del viento para producir electricidad. Treinta años después de instalarse el primer aerogenerador en el país. España ha conseguido ser el primer país del mundo en el que la energía eólica es la principal fuente de generación de energía eléctrica durante un año entero (2013, con el 20.9% de la producción total), lo que le sitúa también como un país muy avanzado en las soluciones tecnológicas que permiten su integración en la red. Con casi 22,000 MW instalados al cierre del año 2013 España es el segundo país europeo por potencia eólica operativa después de Alemania, y el cuarto del mundo. (Global Wind Energy Council, 2015) Para finales del 2015 cuenta con 25 GW de capacidad instalada. En la siguiente gráfica se muestra la generación de electricidad por tipo de fuente. (fig. 16)

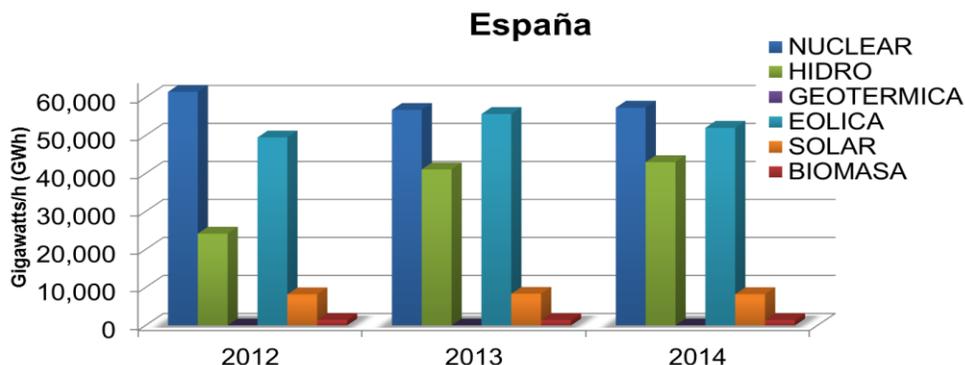


Figura 16. Gráfica con la generación de energía eléctrica por tipo de energía.

Fuente: International Energy Agency

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

India: mantiene claramente su posición como número dos de Asia y el número cinco en todo el mundo con 2.315 MW, alcanzando un total de 22.5 GW en el año 2014. La energía eólica proporciona casi el 67% de la capacidad total instalada de energías renovables conectadas a la red en el país. (Fried, Global Wind Energy Outlook 2014, 2014)

El gobierno planea invertir cerca de 8,000 millones de dólares en actualizaciones de la red y de la capacidad de transmisión para el año 2017 a través de su plan de "corredores verdes de energía". Un proyecto realmente necesario en un país donde cerca de 300 millones de personas no tienen aún acceso a la electricidad. Un ejemplo de esto son los recientes anuncios por parte del Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de India (MNRE) indican que el país planea alcanzar 60.000 MW en capacidad total instalada de energía eólica para el año 2022 (5.000 MW/año). La Agencia Internacional de Energía estima que el mercado indio de energía eólica se reduciría hacia el 2020. Esto significa que la capacidad total instalada sería de 47 GW en 2020 (produciendo 117TWh/año) y 83 GW para el año 2030 (produciendo 219 TWh/año), ayudando a reducir 70 millones de toneladas de CO2 en el año 2020 y 131 millones de toneladas en 2030. (Fried, Global Wind Energy Outlook 2014, 2014). Para finales del 2015 cuenta con 23,088 MW de capacidad instalada. En la siguiente gráfica se muestra la generación de electricidad por tipo de fuente. (fig. 17)

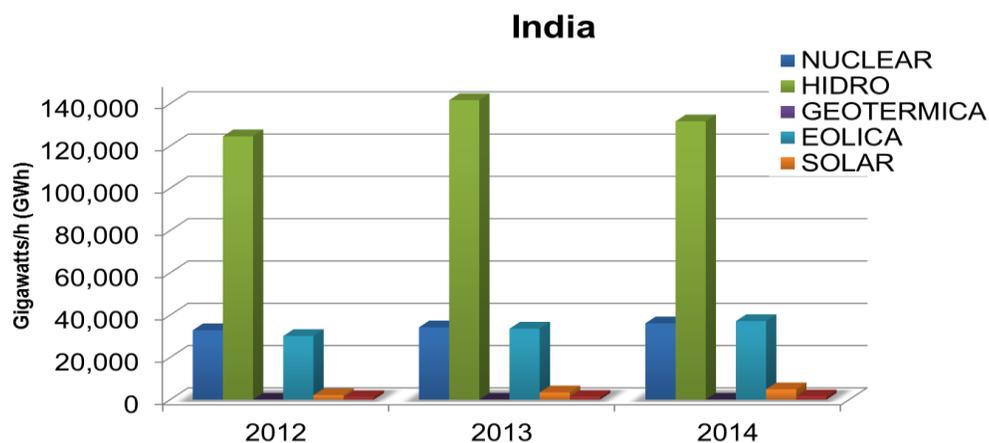


Figura 17. Gráfica con la generación de energía eléctrica por tipo de energía.

Fuente: Energy International Association

3.2 La energía eólica en pequeña escala (generación distribuida)

¿Qué es la generación distribuida?

El concepto de Generación Distribuida (GD) ha surgido en los últimos años debido a la evolución que ha tenido el sistema eléctrico. Su definición se puede aproximar a la de generación de energía eléctrica a pequeña escala y próxima al consumidor. Las crisis energéticas y los impactos medioambientales provocan la aparición de nuevos problemas que influyen de forma definitiva en el desarrollo de la industria energética. En los últimos 20 años, las innovaciones tecnológicas, el incremento de los costos de transporte y distribución, la economía cambiante, la preocupación por el cambio climático y la publicación de normativa reguladora han dado como resultado un interés renovado por la generación distribuida.

Los rangos de capacidad instalada de la generación distribuida varían, pues es bastante subjetivo el criterio para calificar a sus instalaciones como “relativamente más pequeñas a las centrales de generación”. En la literatura se manejan diferentes rangos:

- Micro: 1 Watt a 5 kW;
- Pequeña: 5 kW a 5 MW;
- Mediana: 5 MW a 50 MW;
- Grande: 50 MW a 300 MW

Los tipos de generadores utilizados en la generación distribuida son:

- Turbinas de gas
- Motores de combustión interna
- Mini hidráulica
- Eólica
- Solar fotovoltaica
- Solar térmica
- Biomasa
- Micro turbinas
- Celdas de combustible

En el anexo A se puede revisar la tabla comparativa de costo-beneficio con algunas de las tecnologías de la generación distribuida para uso doméstico.

Las ventajas de la generación distribuida son:

- Minimizar o eliminar el coste de la factura eléctrica de nuestro hogar o empresa.
- Descentralizar la generación de energía, permitiendo a empresas y particulares la producción de su propia electricidad mediante energías limpias.
- Aumentar la eficiencia al eliminar la distancia entre los puntos de generación y consumo. Se suprimen las pérdidas de electricidad que se producen en las líneas que comunican las centrales de energía convencionales (térmicas, nucleares) con los puntos de consumo (ciudades, pueblos).
- Reducir las emisiones de CO₂ al generar electricidad a través de energías limpias.

Los beneficios de la generación distribuida son:

- Incremento en la confiabilidad
- Aumento en la calidad de la energía
- Reducción del número de interrupciones
- Uso eficiente de la energía
- Menor costo de la energía
- Uso de energías renovables
- Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio
- Disminución de emisiones contaminantes

3.3.1 Panorama en nuestro país de la generación distribuida.

En los últimos diez años el número de usuarios tuvo una tasa de crecimiento medio anual de 5.8%, con lo que, en 2014, la CFE abasteció de energía eléctrica a aproximadamente 39 millones de usuarios, el sector residencial tiene el mayor consumo. Este incremento es derivado de la estabilidad en las tarifas de energía eléctrica, lo que permite un mayor acceso al servicio a precios asequibles. (fig. 18)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

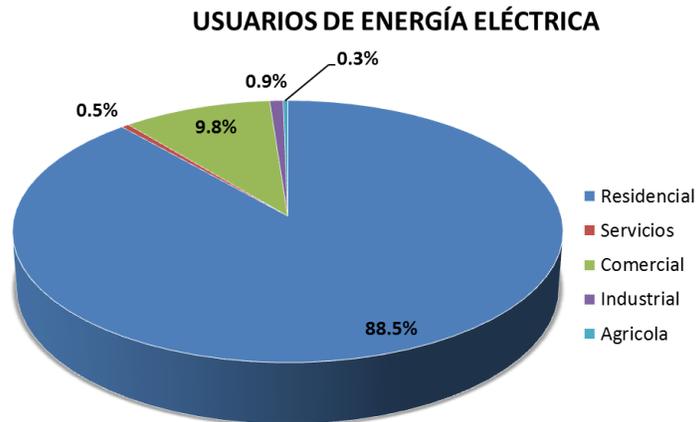


Figura 18. Gráfica con los usuarios (porcentaje) de energía eléctrica.

Para finales del 2014, el Sistema de Energía Nacional tenía una capacidad instalada eléctrica de 65,451.8 MW, 995.5 MW más que en 2013. El 83.1% pertenecía a la CFE (54,366.9 MW), 8.9 % por autoabastecimiento, 5.4% cogeneradores y el restante 2.7% por otros auto consumidores. (fig. 19)

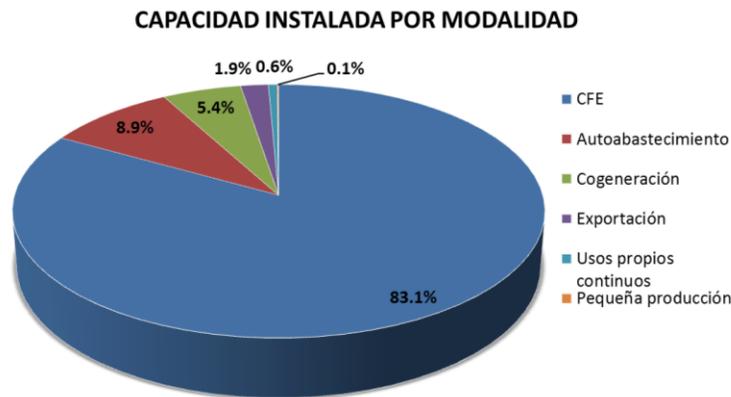


Figura 19. Gráfica con la capacidad instalada (MW) en el Sistema Eléctrico Nacional por modalidad.

En comparación con Estados Unidos, la penetración de GD en México (118 MW en 2015) representa menos del 0.1% del pico total del sistema; todavía una magnitud con mucha oportunidad de crecimiento. Basada en la experiencia internacional, no se anticipa que un mayor crecimiento de la Generación Distribuida impacte la confiabilidad del sistema.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La CFE estima que para el año 2029 que la capacidad adicional se integrará en un 54.3% de energías limpias, mientras que el 45.7% restante corresponde a capacidad que emplea combustibles fósiles. Entre las tecnologías limpias, destaca el aumento de la capacidad de generación a partir de energía eólica, con adiciones de capacidad por 11,952.2 MW, le siguen la cogeneración eficiente, con 7,533.0 MW²¹. En el caso de las tecnologías con base fósil, la mayor proporción será de ciclo combinado con aproximadamente 50 proyectos, equivalente al 44.1% del total. (fig. 20) (Prospectivas de Energías Renovables 2015-2029, 2015)

PARTICIPACIÓN EN LA CAPACIDAD ADICIONAL DE GENERACIÓN POR TIPO DE TECNOLOGÍA 2015-2029

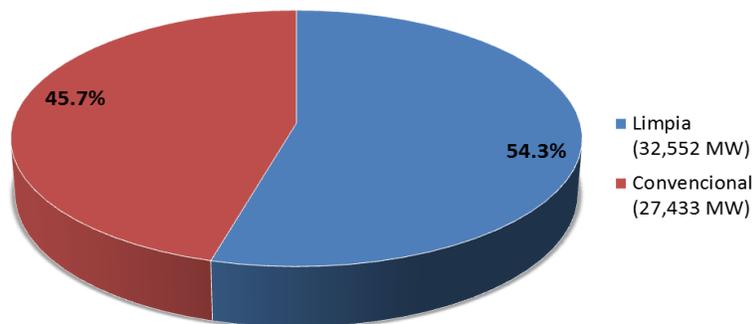


Figura 20. Gráfica con la participación en la capacidad adicional de generación por tipo de tecnología

Con respecto a la capacidad adicional por modalidad, el 32.3% corresponde a centrales eléctricas a cargo de CFE y de los Productores Independientes de Energía (PIE's) (equivalente a 19,375.4 MW), el 23.5% serán bajo el esquema de autoabastecimiento (14,077.8 MW) y pequeña producción, 8.2% provendrá de cogeneración eficiente (4,940.9 MW) y 35.8% (21,448.4 MW) corresponde a proyectos que se desarrollarán bajo el amparo de la Ley de la Industria de la Energía (LIE). (fig. 21)

CAPACIDAD ADICIONAL POR MODALIDAD 2015-2029

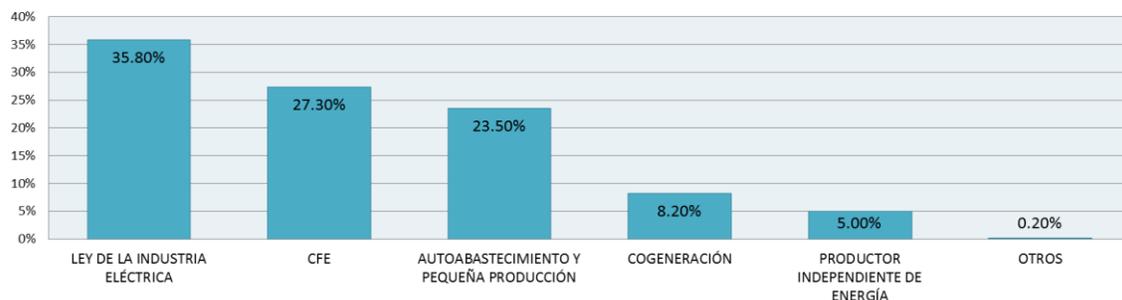


Figura 21. Porcentajes de la capacidad adicional por modalidad 2015-2029

¿Por qué es tan importante la generación distribuida en nuestro país?

México cuenta con una amplia infraestructura eléctrica, la cual abastece al 98.29% de los hogares del país, esta es propio del modelo tradicional, en el cual la mayoría de la electricidad es producida en plantas con gran capacidad de generación para luego ser transmitida y distribuida hasta el usuario final. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de generación distribuida no está peleado con este modelo. De acuerdo con la revisión de la literatura internacional y a entrevistas realizadas con expertos, se han identificado seis importantes razones por las cuales México debería desarrollar la generación distribuida, estas son:

1. La energía eléctrica es cara. En 2012, el precio promedio de la electricidad para la industria en México fue de 114.74 dólares/MWh, es decir 5.87 dólares/MWh por encima del promedio ponderado de los países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico), lo que sitúa a México en el lugar 17 de 33 países con los precios más altos en energía eléctrica. En comparación con las tarifas eléctricas de nuestro principal socio comercial, Estados Unidos, los mexicanos pagan un costo 84% mayor en promedio a nivel industrial. Las diferencias son más marcadas en otros sectores como en el comercial donde es de 135%.
2. El consumo está concentrado. El 58% del consumo de energía eléctrica de México lo realiza la industria con 0.76% de los usuarios de la CFE. Existen ramas de la industria que cuentan con una alta demanda energética, no solo eléctrica, sino también térmica a partir de la quema de combustibles, con un monto de 1,612.31 petajoules (PJ) de acuerdo a cifras de 2013. De este consumo, 67% se genera a partir de combustibles y el 33% restante por electricidad.
3. La demanda está creciendo. México es el décimo país con mayor capacidad instalada para la generación de electricidad dentro de la OCDE. En 2012 el consumo nacional de energía eléctrica fue de 234.2 terawatts-hora (TWh), con un

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

crecimiento con respecto al 2011 del 2.1% y una tasa media anual del 3.1% en el periodo 2002-2012. Por otro lado, las ventas internas de electricidad (energía suministrada a partir del servicio público, incluyendo productores independientes) crecieron a una tasa media anual del 2.6% durante este mismo periodo, mientras que el autoabastecimiento (energía generada por los permisionarios en las modalidades de cogeneración, usos propios continuos, pequeña producción, importación y exportación) aumentó 7.9% en promedio anual. Lo anterior contrasta con la demanda esperada de los países desarrollados donde se espera que el consumo promedio de energía eléctrica caiga en el futuro próximo.

4. Altas pérdidas. El porcentaje de la electricidad que se pierde en el proceso de transmisión y distribución de electricidad en México es uno de los más altos del mundo, 17.6% en 2011. Por ende, la instalación de sistemas de generación distribuida al presentar pérdidas muy bajas, esto al no requerir de transportar electricidad grandes distancias, se convierte en una pieza fundamental para cumplir con la meta de reducir dichas pérdidas al 8% y estar a la par de la media internacional.
5. Potencial para generar energía a precios competitivos. Gran parte del éxito de la generación distribuida depende de qué tan competitivos son los costos de generación. En este sentido, el potencial energético de recursos renovables como el Sol, viento o biomasa, así como el precio del gas natural, resultan fundamentales para su aprovechamiento y desarrollo.
6. La existencia de una política de servicio universal. El país cuenta con una política para electrificar comunidades rurales y zonas urbanas marginadas con un fondo integrado a partir de los ingresos excedentes de la disminución de pérdidas técnicas. En el último Censo de Población y Vivienda se contabilizaron un total de 513,482 viviendas particulares habitadas sin servicio de energía eléctrica y 110,044 de las que no se sabe si cuentan o no con el servicio. De las viviendas sin electricidad, cerca del 75% se encuentran en localidades menores a 2,500 habitantes, lo que

representa una oportunidad importante para el desarrollo de sistemas de generación distribuida, ya que se evitaría incurrir en costos relacionados con la construcción de infraestructura de transmisión, los cuales se incrementan al tratarse de zonas remotas y con poco impacto, esto debido a la baja densidad poblacional.

3.3.2 Panorama mundial de la generación distribuida.

De acuerdo con datos del Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE), en varios países del mundo se ha incrementado el porcentaje de la potencia instalada con este tipo de generación, en relación con la capacidad total instalada. Así, en países como Dinamarca y Holanda, se alcanza valores de hasta el 37%, en otros, como Australia, Bélgica, Polonia, España y Alemania, esta relación es del 15%.

La Comunidad Económica Europea (CEE), incentiva la participación de la generación distribuida (GD) mediante el proyecto SUSTELNET (Sustainable Electricity Networks), en el cual se beneficia a las fuentes de energía renovable permitiéndoles participación en el mercado eléctrico. También se incentiva la participación de CHP (Combined Heat and Power): en 2010 la producción de electricidad a partir de cogeneración, en algunos países de la CEE, fue aproximadamente del 25%.

El año 2011 marcó el primer año de auge para las instalaciones (domésticas) con generación distribuida principalmente con energía solar (fotovoltaica) en China, que representaron el 49% de las instalaciones de generación distribuida con energías renovables en la región de Asia Pacífico. La región de Asia y el Pacífico fue el hogar de un estimado de 94 megavatios (MW) de instalaciones de pilas de combustible y se espera que Japón y Corea del Sur para dirigir el crecimiento durante el período de pronóstico. Hasta el momento Europa seguirá siendo el mercado más grande para la generación distribuida con energías renovables, pero se estima que Asia y el Pacífico, liderado por China, crecerá más rápido a nivel mundial instalando nuevas centrales de generación distribuida. América del Norte, liderado por los Estados Unidos, tendrá un crecimiento significativo, ya que los costos de las tecnologías de la generación distribuida (energías renovables) se asimilarán al

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

de la tecnología tradicional (fósiles) en muchas partes del país. Mientras tanto, los países en desarrollo están considerando el uso de las tecnologías de la generación distribuida como una pieza fundamental para su crecimiento a corto y largo plazo. (Adamson, 2012) En la siguiente gráfica se muestra la capacidad anual instalada de generación distribuida por región. (fig. 22)

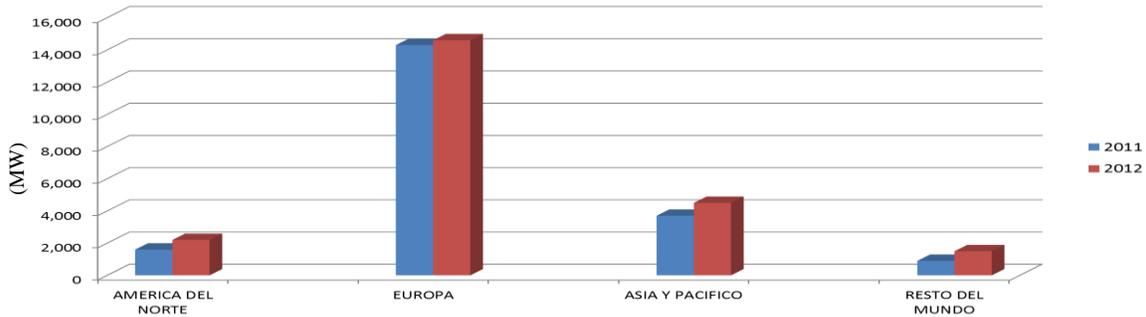


Figura 22. Capacidad anual instalada de generación distribuida por región
Fuente: Pike research: Renewable distributed energy generation

En la siguiente gráfica se muestran los países que generan electricidad con la generación distribuida. (fig. 23).

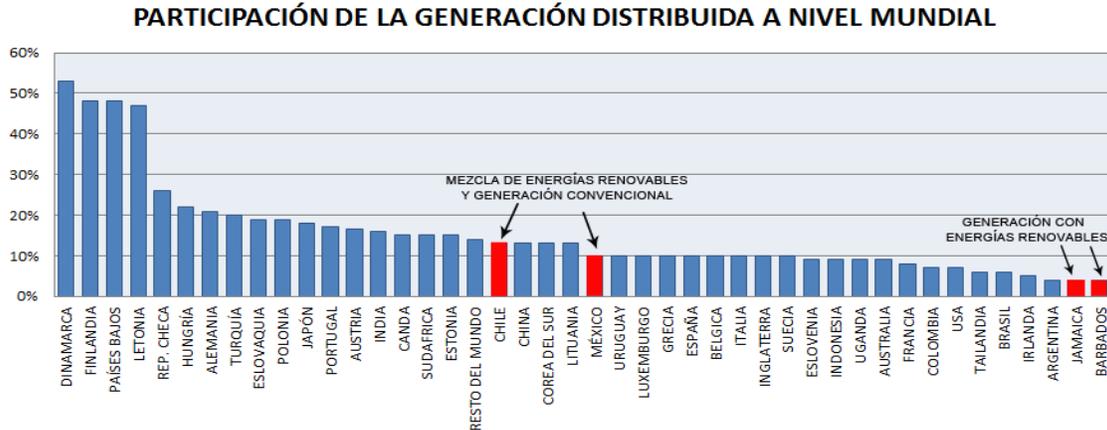


Figura 23. Países que cuentan con generación distribuida. 2011

Fuente: Perspectives for distributed generation with renewable energy in Latin American and the Caribbean

Hasta la fecha, la generación distribuida ha sido más perturbadora en Europa occidental que en cualquier otra región. Los servicios públicos están perdiendo cientos de miles de millones de dólares en capitalización de mercado mientras la generación distribuida alcanza niveles más altos de penetración en los principales países como Alemania, Reino Unido e Italia. La perspectiva de las pérdidas similares por parte de los

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

servicios públicos en los Estados Unidos está provocando una batalla entre los servicios públicos, la industria de la generación distribuida y los reguladores que busca encontrar un equilibrio que permita el crecimiento de la generación distribuida al mismo tiempo que permita el beneficio de las empresas de servicios públicos. Un balance de este tipo permite a los clientes de la generación distribuida y utilidades para aprovechar las nuevas oportunidades de ingresos habilitados por la generación distribuida mientras compensa a los servicios públicos por el uso de la red eléctrica existente como un servicio de respaldo in situ en concentraciones más altas en el futuro.

Para el año 2012 las adiciones de capacidad de energía eléctrica producida por la generación distribuida crecerán de 142 GW a 200 GW para el año 2020. Esto equivale a 58 GW por año y representa una tasa de crecimiento anual promedio de 4.4%. La inversión en tecnologías de energía distribuida saltará entre \$150 mil millones a \$205 mil millones. (Owens, 2014) También se estima que para el año 2020 las energías renovables y de cogeneración unidades podrían proporcionar conjuntamente más del 50% de toda la electricidad consumida en Europa. La mayor parte del resto de la energía eléctrica sería producida por las centrales nucleares, así las plantas de combustibles fósiles convencionales serían sustituidas por las energías renovables y plantas de generación distribuida, que se benefician de los subsidios. (Klose, 2010) (fig. 24)

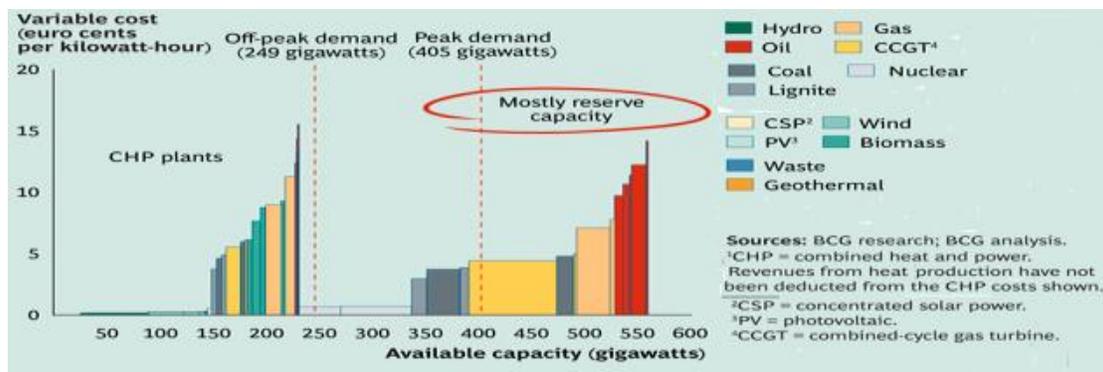


Figura 24. Gráfica con la estimación de generación de energía eléctrica con generación distribuida en Europa para el 2020.

La consultora Navigant Research estima que entre 2014 y 2023, la generación distribuida reemplazará la necesidad de al menos 321 GW generados por nuevas plantas eléctricas a gran escala, valorada en más de \$ 1 trillón por la construcción de las centrales eléctricas. Los grupos electrógenos de diésel liderarán todas las tecnologías de la

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

generación distribuida, seguido de la energía solar fotovoltaica. Y se estima que la capacidad instalada anual de generación distribuida a nivel mundial crezca de 87.3 GW en 2014 a 165.5 GW en 2023. Se pronostica que las siguientes regiones: América del Norte, Europa Occidental y Asia sean las primeras para el despliegue anual de dicha tecnología para el año 2014, con 21.2 GW, 21.0 GW, y 33.0 GW, respectivamente. Las regiones de Asia y el Pacífico seguirán siendo las líderes en el mercado anual de la generación distribuida hasta el año 2023, contando con 52.3 GW. A nivel global, se instalarán 1,213.3 GW (acumulados) entre 2014 y 2023, lo que representa \$ 1,3 billones en ingresos. Las nuevas adiciones de capacidad de la generación distribuida en todo el mundo superarán las nuevas adiciones de capacidad de las centrales eléctricas en el año 2018. Esta tendencia continuará y se agregará más capacidad instalada de la generación distribuida al año que con las centrales eléctricas para el año 2023. (Mackinnon, 2014) Esta misma consultora menciona que a medida que el sistema centralizado actual (plantas centrales eléctricas) para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se hace cada vez más costoso, el uso de fuentes renovables para la generación de energía distribuida como la energía solar (fotovoltaica), la energía eólica a pequeña escala y las pilas de combustible se triplicará para el año 2017. También señala que todas las instalaciones de generación distribuida ubicadas en todo el mundo alcanzarán 63.5 GW para el año 2017, frente a los 20.6 GW en 2011, esto quiere decir que se añadirán 232 GW de energía renovable distribuida entre los años 2012 y 2017. (Walker, 2012)

Con base a la encuesta realizada por la empresa IEEE (Tecnología Avanzado para la Humanidad), la región que se espera ver con el mayor crecimiento con el uso de la generación distribuida en los próximos cinco años es Europa (32%), seguida de América del Norte y Asia y el Pacífico (26% ambos). La energía solar y eólica son las más propensas a tener un crecimiento más significativo en los próximos cinco años. Esto está de acuerdo con las tendencias en la producción primaria de energía solar y eólica en los últimos años en los 27 Estados miembros de la Unión Europea (UE-27 ms). (Anaya & Pollit, 2015)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Un excelente ejemplo de generación de energía eléctrica con la ayuda de la generación distribuida se encuentra en Sudáfrica. Aproximadamente el 20% de la población rural de Sudáfrica se tiene contemplado que no cuente con electricidad durante al menos los próximos 20 años. El gobierno de Sudáfrica reconoce la importancia de las tecnologías de generación distribuida (energías renovables) y ha aprobado el uso de sistemas fotovoltaicos para la electrificación de 2,000 clínicas y 16,800 escuelas. Se espera que con los sistemas fotovoltaicos se suministre de electricidad a 2.5 millones de hogares y 100,000 pequeñas empresas con un programa integral de redes eléctricas de Sudáfrica. (Petrie, Lee, & Takahashi)

Otros países que destacan por el uso de la generación distribuida para producir energía eléctrica son:

China: A finales de 2012, la Corporación Estatal de Red de China, empresa de energía más grande del país, conectó 15,600 estaciones de generación de energía distribuida con una capacidad total instalada de 34 GW. China aspira con tener 1,000 proyectos de energía distribuida que utilizan gas natural, una capacidad de energía solar de 10 GW y 100 ciudades que cuenten con el uso de la energía distribuida. Para el mes de Marzo de 2013, la Red Estatal tomó medidas específicas para facilitar el uso de la generación distribuida, otorgando un incentivo para propietarios de hogares y empresas que utilicen estas tecnologías. Los hogares y empresas que utilizan energía distribuida serían capaces de enviar la energía eléctrica sobrante a la red y recibir un crédito por la potencia recibida por la red. Con el fin de calificar para el incentivo, los proyectos de energía distribuida deben estar conectados a la red eléctrica a 10 kV o menos, y la capacidad de potencia distribuida no puede exceder de 6 MW.

Myanmar: el gobierno de Myanmar estima que el 32% de la población en zonas urbanas y en zonas rurales sólo una fracción de la población cuenta con electricidad a nivel nacional. El 69% de la población utiliza la leña como principal fuente de energía para cocinar y el 46% utiliza queroseno, velas o pilas para la iluminación. Las expectativas predicen que el consumo de energía se triplicará en los próximos cinco años. La generación de electricidad

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

del país depende de la tecnología hidroeléctrica (70%), pero adolece de falta de inversión y las pérdidas de tensión son mayores al 25%. Myanmar tiene la suerte de tener grandes reservas de gas natural. Hoy en día, la mayor parte de este gas se exporta a Tailandia y China. El aprovechamiento de la infraestructura de gas ofrece un gran potencial, pero las tuberías se encuentran en pésimas condiciones y necesitan reparación. En septiembre de 2015, el Banco Mundial aprobó un préstamo de 400 millones para apoyar el Plan Nacional de Electrificación del gobierno de Myanmar, que tiene como objetivo el acceso universal a la electricidad en 2030. En la primera fase del Plan de Electrificación, la electricidad se extenderá a más de 1 millón de hogares, el 60% se conectarán a la red nacional y el 40% obtendrán electricidad por medio de la generación distribuida para el año 2021.

India: alrededor de 10,000 aldeas están ubicadas en zonas rurales con terrenos de difícil alcance. La generación distribuida es una solución óptima. Se puede proporcionar un suministro fiable de electricidad para mejorar la provisión de las necesidades sociales básicas: alimentación, educación y salud. La producción de electricidad con la ayuda de la generación distribuida permitirá que las mujeres vayan a la escuela (en lugar de recoger leña para cocinar y calentar agua). Ejemplo de ello es el estado occidental de Gujarat que en el año 2011, la electricidad cubrió el 100% con el uso de la energía solar.

Alemania: En 2010, la capacidad instalada correspondiente a la generación distribuida fue de 83 GW y representó el 51.7% del total. Y alrededor del 97% de las fuentes de energía renovables se conectaron a la red de distribución. En las siguientes figuras (fig. 25 y 26) se muestran la capacidad instalada y la generación de energía eléctrica con el uso de la generación distribuida para el periodo 1990-2012.

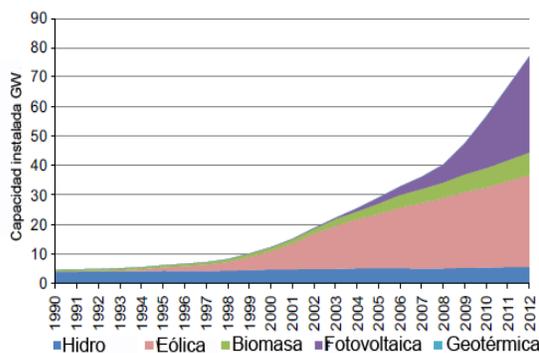


Fig. 25. Capacidad instalada (generación distribuida) en Alemania

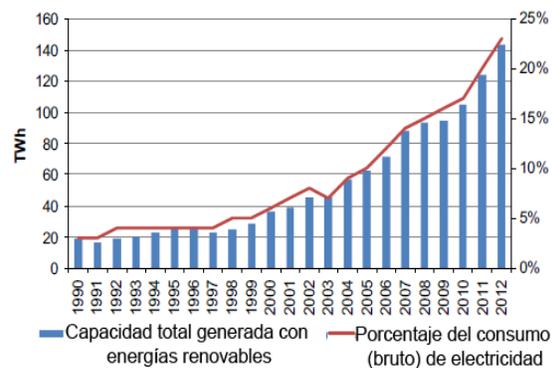


Fig. 26. Generación de electricidad con generación distribuida

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Las energías: eólica y solar (fotovoltaica) son las que cuentan con el mayor porcentaje de generación de energía eléctrica con el uso de la generación distribuida, y para finales de 2012, representan el 83% de la capacidad total instalada renovable. En términos de energía solar fotovoltaica, la mayoría de los clientes están conectados a nivel de baja tensión (LV) (230 / 400V) y media tensión (MV) (11-60 kV). En relación con la energía eólica, el 95% de los clientes que generan su energía eléctrica con esta tecnología en la categoría de generación distribuida están conectados en media tensión. En cuanto a la generación de electricidad, la energía eólica, la biomasa y la energía solar (fotovoltaica) son las tecnologías que contribuyen en mayor medida a la mezcla de generación distribuida. La energía solar fotovoltaica es la que tiene la mayor tasa de crecimiento en el período 2004-2012. A finales de 2012, la generación de electricidad a partir de la generación distribuida representó 143,5 GWh, con una cuota del consumo bruto de electricidad del 22,5%.

Dinamarca: En 2009 la participación de la generación distribuida en la generación de energía eléctrica total fue de alrededor del 43%, de los cuales el 50% provino de la energía eólica. A partir del año 2013 la capacidad total instalada por parte de la generación distribuida fue de 6.6 GW (incluyendo cogeneración a pequeña escala). La energía eólica es la que tiene la mayor participación de la generación distribuida (53%), seguida de la cogeneración (36%). La energía solar (fotovoltaica) solo representa cerca del 8,1% de la capacidad total de la generación distribuida conectada, sin embargo en los últimos cuatro años se ha observado un impresionante aumento, pasando de 6 MW en 2009 a 563 MW en 2013. En las siguientes figuras (fig. 27 y 28) se muestran la capacidad instalada y la generación de energía eléctrica con el uso de la generación distribuida para el periodo 1990-2012.

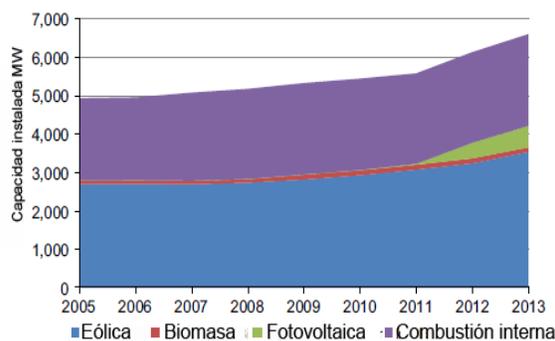


Fig. 27. Capacidad instalada (generación distribuida) en Dinamarca

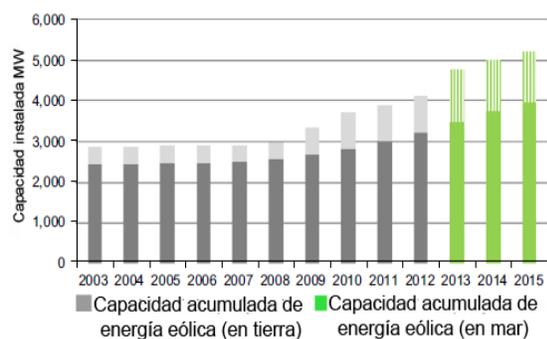


Fig. 28. Capacidad eólica acumulada

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

A partir del año 2012, había alrededor de 5,020 turbinas de viento que representaron el 30% del suministro eléctrico nacional. El tamaño de la mayoría de las turbinas de viento está entre 0.5 y 0.9 MW y representa el 42% de la capacidad total del viento.

Suecia: A finales de 2012, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica fue de alrededor de 24.3MW. Una tendencia al alza importante se observa en los últimos años. El aumento se explica tal vez por la aplicación del régimen de apoyo a la energía solar fotovoltaica en julio de 2009. La categoría de generación distribuida conectada a la red es el que tiene el más impresionante crecimiento en los últimos años. A partir de 2012, esta categoría es la más representativa de la capacidad instalada total de energía solar fotovoltaica con una cuota del 65%. La siguiente gráfica nos muestra la capacidad instalada de energía solar (fotovoltaica) en el periodo 1992-2012. (fig. 29)

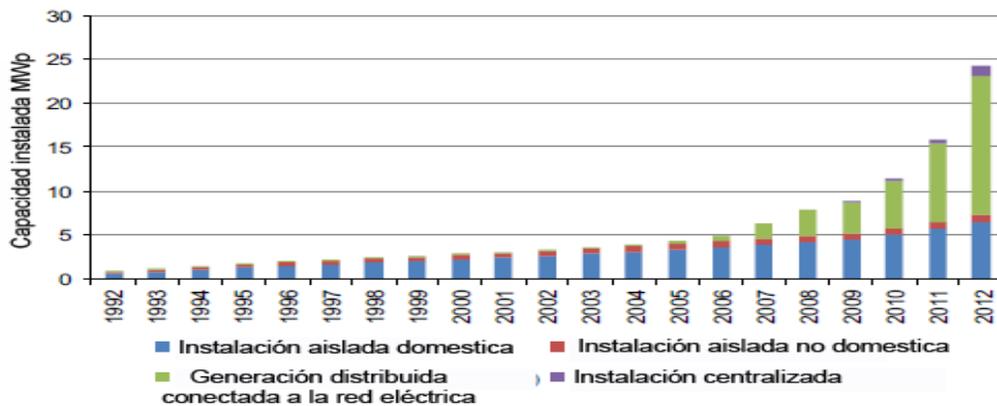


Fig. 29. Capacidad instalada de energía solar (fotovoltaica) en Suecia

A continuación se mencionan otros proyectos de generación distribuida (energía eólica a pequeña escala) a nivel mundial:

Plantas con sistemas eólicos:

- Utgrunden (Suecia), equipado con 7 turbinas de 1.5 MW, para una capacidad total de 10.5 MW.

- Parque eólico Middelgrunden, Dinamarca. Consiste en 20 turbinas, cada una con una capacidad de 2 MW para un total de 40 MW. La velocidad del viento es de 7.2 m/s a 50 metros de altura. TunøKnob (Dinamarca) está localizado al Este de Jutland, con una capacidad total de 5 MW, equipado con 10 turbinas de 500 kW cada una, instalado en 1995. Vindeby (Dinamarca), tiene una capacidad total de 4.95 MW, equipada con 11 turbinas de 450 kW. Fue establecida en el año de 1991. Middelgrunden (Dinamarca) al Este de Copenhague. Puesta en operación en 2001, es una de las plantas eólicas más grandes del mundo, con una capacidad de 202 MW.
- Parque eólico Lastour, Francia. Se encuentra ubicado al sur de Francia, cuenta con tres turbinas con una capacidad de 600 kW, para una capacidad total de 1.8 MW. Se desarrolló en el año 2000.
- Parque eólico Zwaagdijk, Países Bajos. Este proyecto se desarrolló hacia el norte de Holanda, cuenta con una capacidad total instalada de 5.1 MW, distribuidos en 6 turbinas de 850 kW cada una. Ijsselmeer (Holanda) es el segundo sistema eólico más grande del mundo, equipado con 28 turbinas con una capacidad de 600 kW cada una, para una capacidad total de 16.8 MW.
- Parque eólico El Perdón, España. Se encuentra ubicado al norte de España en la región de Navarra. Se compone de 40 aerogeneradores dispersos alrededor de cuatro kilómetros. Tiene una capacidad instalada de 20 MW y una producción anual estimada de 50 GW hora.
- Parque eólico Keyenberg, Alemania. Se compone de 9 aerogeneradores, cada uno con un potencia de 1.3 MW, para una capacidad instalada de 11.7 MW y una estimación de producción anual de 29 GW hora.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Para finales del año 2014, ya se contaba con un total acumulado de al menos 945,000 pequeños aerogeneradores instalados en todo el mundo. Esto representa un aumento del 10% (830 MW). A comparación del año 2013 que contaba con 872,000 unidades instaladas, las cuales generaron el 7.4% (749 MW). (fig. 30)

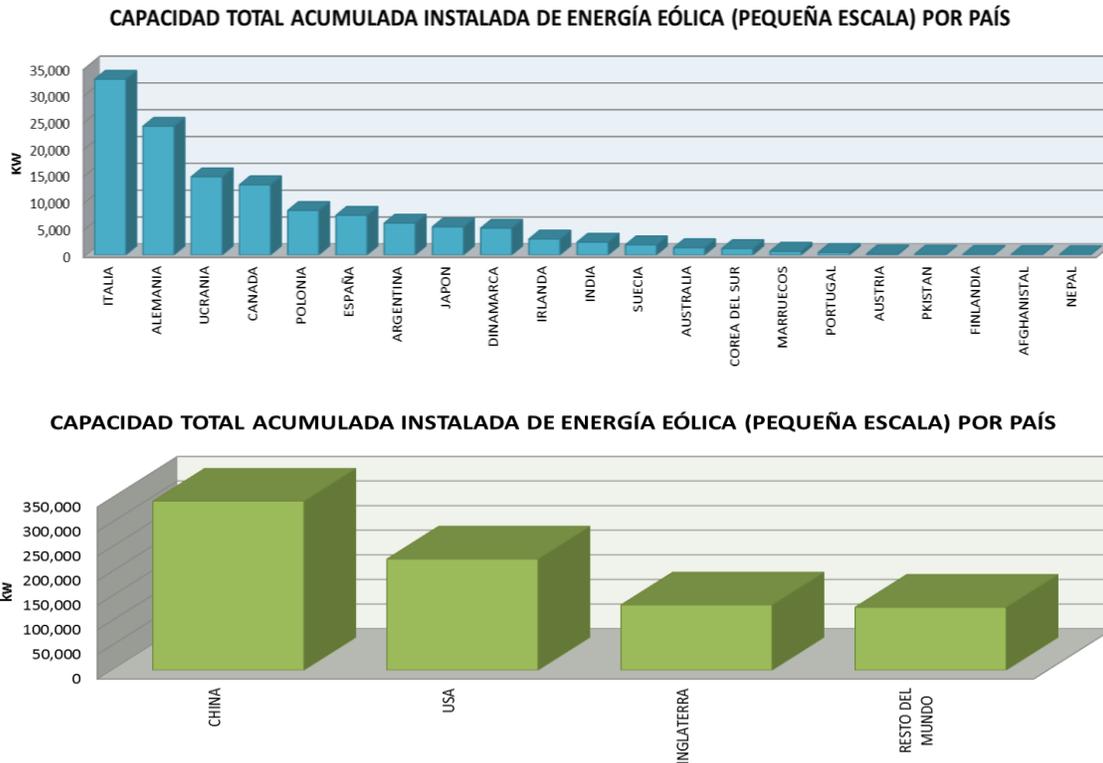


Figura 30. Grafica con la capacidad total acumulada instalada de energía eólica (pequeña escala) por país.

Fuente: World Wind Energy Association

En el siguiente mapa se muestran los mercados de los países que cuentan con un gran potencial para la generación distribuida. (fig. 31)

Potential Markets for Distributed Renewable Energy



Fuente: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

El mercado podría ver posteriormente una tasa compuesta de crecimiento constante de 20% entre 2015 y 2020. La industria prevé que alcance aproximadamente 240 MW de nueva capacidad instalada para el año 2020 y alcanzar una capacidad instalada acumulada de aproximadamente 1.75 GW en 2020. (fig. 31) (Pitteloud & Gsanger, 2016)

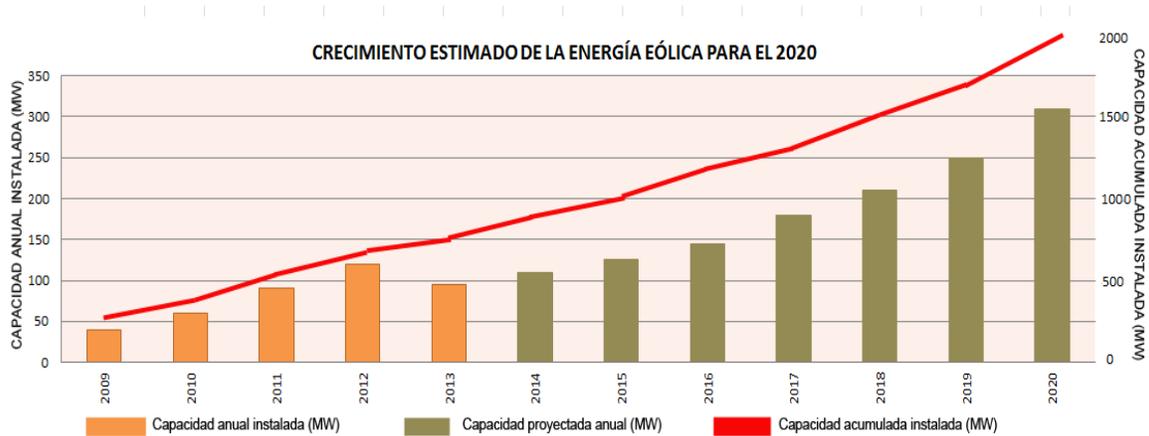


Figura 31. Grafica con el crecimiento estimado para el 2020.

Fuente: World Wind Energy Association

Con respecto a América Latina, la Agencia Internacional de Energía estima que 33.8 millones de personas en América Latina no tienen acceso a la electricidad. El Banco Mundial dice que la cifra supera 1.6 mil millones de personas en todo el mundo. La mayoría de estas personas viven en zonas rurales y aisladas que se suelen olvidar por proyectos de electrificación debido a los altos costos y las dificultades técnicas. Una tercera alternativa incorpora recursos energéticos distribuidos (DER). De hecho, América Latina posee un alto potencial de recursos como la energía solar, eólica, biomasa y microhidroeléctrica. La incorporación óptima, eficiente y segura de estos recursos requiere el desarrollo de soluciones técnicas que reúnen estas condiciones, en las que las microrredes juegan un papel importante. Se identifican tres principales áreas de aplicación para el desarrollo de microrredes.

Integración de DER a la red eléctrica interconectada requiere una plataforma coordinada para el control y seguimiento de las microrredes fuerte. Desde el punto de vista de cuadrícula grande, microrredes coordinados serían tratadas como una sola entidad equivalente a la planta de energía convencional (emisiones primarias de energía). (Jiménez Estévez, 2016)

3.3.3 Redes inteligentes (Smart grids).

Un tema que va de la mano con la generación distribuida son las “redes inteligentes”. La Plataforma Tecnológica Europea define a las redes inteligentes como la aplicación de nuevas tecnologías de comunicación e información digital, para gestionar en forma eficiente los recursos de generación, transmisión, distribución y las instalaciones del cliente. Esto, con el objetivo de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible. Esta tecnología es necesaria cuando el equipo (generador de energía eléctrica) se interconecta a la red eléctrica y la tecnología que se utiliza para poder llevar una buena gestión del consumo de la energía eléctrica es la colocación de un medidor bidireccional.

En la tabla 3 se mencionan las diferencias que existen entre una red eléctrica convencional y una red eléctrica inteligente.

Característica	Red convencional	Red inteligente
Automatización	Existencia muy limitada de elementos de monitorización, reservándose a la red de transporte.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
Inteligencia y control	La red convencional de distribución carece de inteligencia, utilizando un control manual.	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuido en la red.
Autoajuste	Se basa en la protección de dispositivos ante el fallo del sistema.	Detecta y responde a problemas en la transmisión y distribución en tiempo real. Minimiza el impacto en el consumidor.
Participación del consumidor y generación distribuida	Los consumidores están desinformados y no participan en la red. No se genera energía localmente, lo que implica un flujo energético unidireccional.	Incorporación masiva de generación distribuida, la que permite coordinarse a través de la red inteligente. En esta generación participa el usuario con la entrega del exceso energético generado localmente.
Gestión de la demanda.	No existe ningún tipo de gestión en la utilización de dispositivos eléctricos, en función de la franja horario del día o del estado de la red eléctrica.	Incorporación por parte de los usuarios de electrodomésticos y equipos eléctricos inteligentes que permiten ajustarse a esquemas de eficiencia energética.
Calidad eléctrica	Solo se resuelven los cortes de suministro, ignorando los problemas de la calidad eléctrica.	Calidad eléctrica que satisface a industrias y clientes. Identificación y resolución de problemas de calidad eléctrica.

Tabla 3. Comparación entre una red eléctrica convencional y una red eléctrica inteligente.

CAPÍTULO 4

**Casos reales
de aplicación**



4. Casos reales de aplicación

Costa Rica

"Costa Rica explota sus fuentes renovables de manera planificada y equilibrada, con una matriz diversificada, sostenible, optimizada y económica, que garantiza un suministro de calidad, con participación del sector público y privado", explicó Carlos Obregón, presidente ejecutivo del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad).

El país no ha tenido que utilizar los combustibles fósiles durante Enero, Febrero y Marzo, debido a que las fuertes lluvias que han permitido a las plantas hidroeléctricas funcionar a su máxima capacidad. Actualmente recibe alrededor del 88% de la cantidad total de electricidad a partir de las fuentes renovables:

- a) Las plantas hidroeléctricas suministran el 68%,
- b) las plantas geotérmicas proporcionan el 15%,
- c) la energía eólica ofrece el 5%, y
- d) la energía solar y la de biomasa también contribuyen a la matriz energética del país. El gobierno costarricense tiene como reto para el año 2021 realmente pueda subsistir simplemente con energía renovable para generar electricidad para todo el país y suministrarla solo a los inmuebles (sector residencial, comercio e industrial).

Estados Unidos podría funcionar al 100% con energías renovables para 2050

Un equipo de investigadores dirigido por el profesor de la Universidad de Stanford Mark Z. Jacobson tiene un plan que, según él podría conseguir que los Estados Unidos funcione al 100% con energías renovables para el año 2050.

Realizaron un análisis del uso de energía, estado por estado, la categorizaron por áreas como: residencial, comercial, industrial y de transporte. Después identificaron qué tipo de energía renovable tiene más sentido para cada estado. Para los estados que reciben más luz solar, la energía solar; para los que están cerca de las costas, parques eólicos off-shore; para

aquellos con grandes ríos, la energía hidroeléctrica. Teniendo en cuenta que la progresión natural de la eficiencia energética, los investigadores creen que cada estado podría recibir un 80 por ciento de su energía a través de fuentes renovables para el año 2030, con una transición completa para el año 2050. (Staedter, 2015)

Hawaii planea trabajar al 100% con energías renovables para el año 2045

Hawaii está a punto de ser el primer estado en los Estados Unidos para establecer una meta de generar toda su electricidad a partir de fuentes de energía renovables.

En virtud de un proyecto de ley de la Legislatura de Hawaii que aprobó esta semana, el 100% de la electricidad del estado se generará con energías renovables para el 2045. Si el gobernador David Ige aprueba la medida (tiene hasta finales de Junio del 2015) pondrá la Iniciativa de Energía limpia Hawaii hasta mediados de siglo. La iniciativa tiene como objetivo reducir la dependencia del estado en el petróleo, que genera la mayor parte de su energía eléctrica.

Las importaciones son alrededor de 93% de toda su energía, por lo que sus tarifas eléctricas residenciales son de las más caras de la nación (alrededor de 175% de la media de USA). Actualmente Hawaii obtiene alrededor del 22% de su electricidad de fuentes renovables, principalmente de energía eólica y solar. (Kahn, 2015)

Suecia apostará por las energías renovables y dejar de utilizar combustibles fósiles

Suecia es un nuevo ejemplo a seguir, al igual que Reino Unido, dentro de la Comunidad Europea ya que su gobierno, en lugar de perjudicar a todos los que en su momento apostaron por las energías renovables, ha establecido un ambicioso programa donde se intentará erradicar el uso de combustibles fósiles en las próximas décadas. Llegados a este punto todavía queda por ver si otros países seguirán su ejemplo o por el contrario, como parece ocurrir en España, aún se pondrán más trabas.

Entrando un poco en lo que propone el país nórdico referente a energías renovables, nos encontramos con que están más decididos que nunca a ir cerrando de forma progresiva sus centrales nucleares que, por otro lado, necesitaban o ser cerradas o una exigente renovación ya que son demasiado viejas. El objetivo es precisamente, en lugar de invertir en estas centrales hacerlo en energías renovables para lo que, inicialmente, se realizará una inversión de 480 millones de euros para impulsar principalmente el desarrollo e instalación de placas solares. (Arboledas, 2015)

Uruguay realiza cambio dramático a casi el 95% de la electricidad a partir de energía renovable

En menos de 10 años, Uruguay ha reducido su huella de carbono sin subsidios del gobierno o mayores costos de consumo, comentó el responsable de la política de cambio climático del país, Ramón Méndez. También menciono que las energías renovables proporcionan el 94.5% de la electricidad del país.

En este momento la prioridad es la importación de turbinas de viento. También la biomasa y la energía solar se han incrementado, sumándose a la energía hidráulica existente, esto significa que las energías renovables representan ahora el 55% de la matriz energética del país. El país se propuso la meta que para el 2017 reducir al 88% las emisiones de carbono.

"Lo que hemos aprendido es que las energías renovables es sólo un negocio financiero", dice Méndez. "Los costos de construcción y mantenimiento son bajos, por lo que el tiempo que le da a los inversores un entorno seguro, es un diseño muy atractivo."

También comento que el éxito de Uruguay se debe a tres factores fundamentales: la credibilidad (una democracia estable que nunca ha incumplido sus deudas por lo que es atractivo para las inversiones a largo plazo); condiciones votos naturales (buen viento, radiación solar decente y una gran cantidad de biomasa de la agricultura); y fuertes empresas públicas (que son un socio fiable para las empresas privadas y pueden trabajar con el estado para crear un entorno de trabajo atractivo). (Watts, 2015)

CAPÍTULO 5

Análisis del viento



5. Análisis del viento

Los vientos son movimientos de masas de aire en la atmósfera a gran escala. Estos movimientos de aire se crean a escala global, principalmente, debido al distinto calentamiento de la atmósfera terrestre por el Sol. Por tanto, la energía eólica puede considerarse como una forma indirecta de energía solar. A estos movimientos del viento se conocen como “Fuerza de Coriolis”. (fig. 32) (Villarubia López, 2013)



Figura 32. Esquema de funcionamiento de la Fuerza de Coriolis.

La fuerza de Coriolis se debe a la rotación de la Tierra. Desde un punto fijo en el espacio, el aire parecería viajar en línea recta, pero para un punto sobre la Tierra su trayectoria parece curva. La rotación de la Tierra hace que el aire que fluye desde el Ecuador hacia los polos se desvíe hacia el este y el flujo de retorno desde los polos hacia el Ecuador se desvíe hacia el oeste, es decir, las masas de aire son desviadas hacia la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur.

Se estima que la energía total disponible de los vientos del planeta es aproximadamente el 2% de la energía de la luz solar absorbida por la superficie terrestre que corresponde a 2000 kW/m anuales. Este mínimo porcentaje representa cien veces la potencia anual instalada en las plantas de energía de todo el mundo.

5.1 Tipos de Vientos

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos tenemos tres tipos de vientos:

- vientos globales,
- vientos regionales y
- vientos locales.

Vientos globales

Se generan principalmente como consecuencia del movimiento de rotación terrestre, que origina un desigual calentamiento de la atmósfera por la insolación y proceden de centros de acción dispuestos en franjas latitudinales de altas y bajas presiones, es decir, de anticiclones y depresiones. (fig. 33) (Méndez Muñiz, 2012)

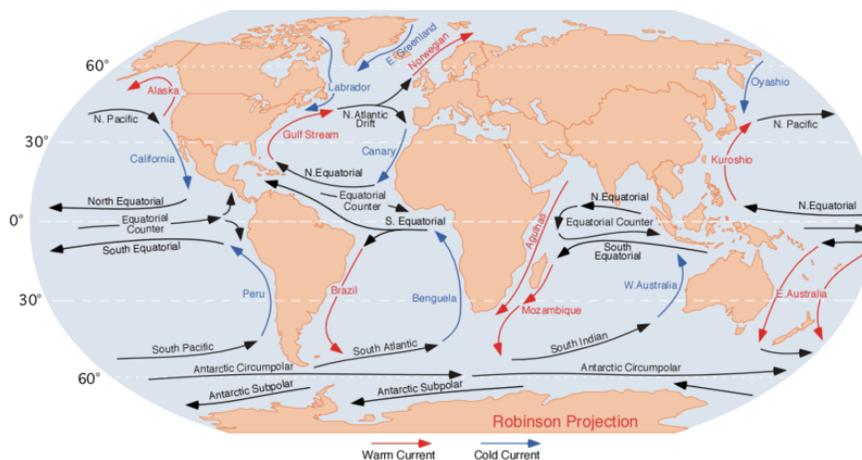


Figura 33. Mapa con la dirección de los vientos a nivel mundial

Vientos regionales

Son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales. También establecen las condiciones meteorológicas de un territorio.

Los monzones también podrían considerarse como vientos regionales, aunque su duración en el tiempo y su alternabilidad estacional los convierten más bien en vientos planetarios. (Méndez Muñiz, 2012)

Vientos locales

Como los demás tipos de vientos, los vientos locales presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determinando los vientos dominantes y los vientos reinantes de un área más o menos amplia.

Estos vientos a su vez se clasifican en:

- a) Brisas marinas
- b) Vientos de montaña
- c) Efecto túnel
- d) Efecto de la colina

a) Brisas marinas: Durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el mar por efecto del sol. El aire sube, circula hacia el mar, y crea una depresión a nivel del suelo que atrae al aire frío del mar. Esto es lo que se llama brisa marina. Durante la noche los vientos soplan en sentido contrario. (fig. 34)



Figura 34. Comportamiento de los vientos tipo “Brisas marinas”

b) Vientos de montaña: las regiones montañosas muestran modelos de clima muy interesantes. Un ejemplo es el viento del valle que se origina en las laderas que dan al sur (o en las que dan al norte en el hemisferio sur). Cuando las laderas y el aire próximo a ellas están muy calientes la densidad del aire disminuye, y el aire asciende hasta la cima siguiendo la superficie de la ladera. Durante la noche la dirección del viento se invierte, convirtiéndose en un viento que fluye ladera abajo. (fig. 35)



Figura 35. Comportamiento de los vientos de montaña.

c) Efecto túnel: si se toma un camino con un paso estrecho entre montañas se observará que el aire al pasar a través del estrecho se comprime en la parte de la montaña que está expuesta al viento, y su velocidad crece considerablemente entre los obstáculos del viento. Esto es lo que se conoce como efecto túnel. (fig. 36)



Figura 36. Comportamiento de los vientos tipo "efecto túnel"

d) Efecto de la colina: En las colinas siempre se aprecian velocidades de viento superiores a las de las áreas circundantes. Tal como se observa en la figura 32, el viento empieza a inclinarse algún tiempo antes de alcanzar la colina y de esta manera aumenta su velocidad al llegar a la cima. Es importante resaltar que si la colina es escarpada o tiene una superficie accidentada, puede haber una cantidad de turbulencia significativa, que puede anular la ventaja que supone tener velocidades de viento mayores. (fig. 37)

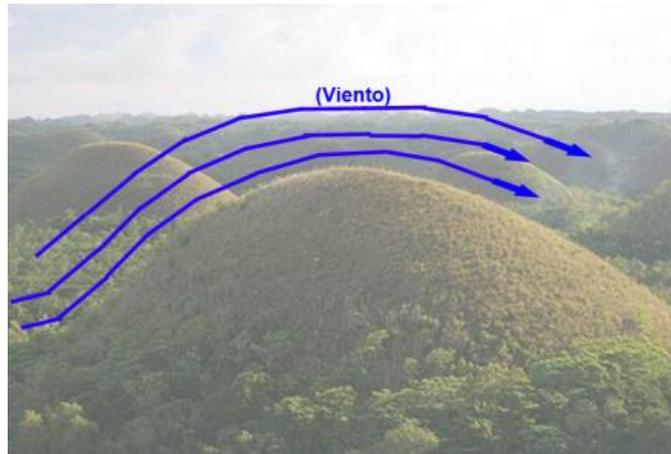


Figura 37. Comportamiento de los vientos tipo “efecto de la colina”

CAPÍTULO 6

Aerogeneradores



6. Aerogeneradores

6.1 ¿Qué es un aerogenerador?

Es un dispositivo mediante el cual se obtiene electricidad, debido a que el movimiento de sus aspas activa un generador eléctrico que transforma la energía mecánica producida por la rotación en energía eléctrica, y esta última puede almacenarse en baterías o conectarse a la red de manera directa.

Los aerogeneradores se clasifican en dos grupos dependiendo la posición del eje de las aspas:

- Aerogeneradores de eje vertical y
- Aerogeneradores de eje horizontal.

6.2 Aerogeneradores de eje vertical.

Son aquellos que el eje no solo es perpendicular a la dirección de giro, sino que es también perpendicular al suelo o superficie de montaje.

Ventajas	Desventajas
a) el equipo está en el suelo, por lo que es muy accesible para darle mantenimiento y no necesitan mecanismos de orientación	a) que en caso de falla se tiene que desmontar todo el equipo y b) el costo de este equipo se eleva un 60% más que el de eje horizontal. (Méndez Muñiz, 2012)

Se pueden distinguir dos tipos principales:

aerogeneradores Darreius (fig. 38)



Figura 38. Aerogenerador Darreius

aerogeneradores Savonius (fig. 39)



Figura 39. Aerogenerador Savonius

6.3 Aerogeneradores de eje horizontal.

La turbina está provista de un rotor cuyo eje es sensiblemente paralelo a la dirección del viento. Estos aerogeneradores necesitan alinearse con la dirección del viento, de forma que el viento sople paralelo al eje de rotación para poder producir energía eléctrica. La principal ventaja de estos aparatos es su mayor rendimiento y su capacidad de autoarranque. (fig. 40)



Figura 40. Ejemplo de un aerogenerador de eje horizontal (parque eólico).

Los aerogeneradores de eje horizontal a su vez se pueden clasificar por las siguientes características:

- número de palas (monopala, bipala, tripala)
- velocidad del rotor (fija y variable)
- orientación con respecto a viento (barlovento: de frente al viento y sotavento: el rotor está en sentido contrario al viento)

Velocidad del rotor.

Fija: el generador se conecta directamente a la red principal de suministro eléctrico, por lo que resulta económico; sin embargo, presenta altas corrientes de arranque y una alta demanda de potencia reactiva. La energía que se obtiene es de frecuencia variable, por lo que se debe añadir un rectificador y un ondulator para la obtención de ciclos necesarios para la corriente de red.

Variable: el rotor y el generador se desacoplan de la frecuencia de la red, por lo que el rotor es capaz de operar con velocidad variable ajustada a la velocidad del viento real. En consecuencia, los componentes mecánicos reaccionan mejor ante la fatiga y esto permite una ampliación de la vida útil del equipo.

6.4 Componentes de un aerogenerador

En la siguiente imagen se muestran los componentes de un aerogenerador. (fig. 41)

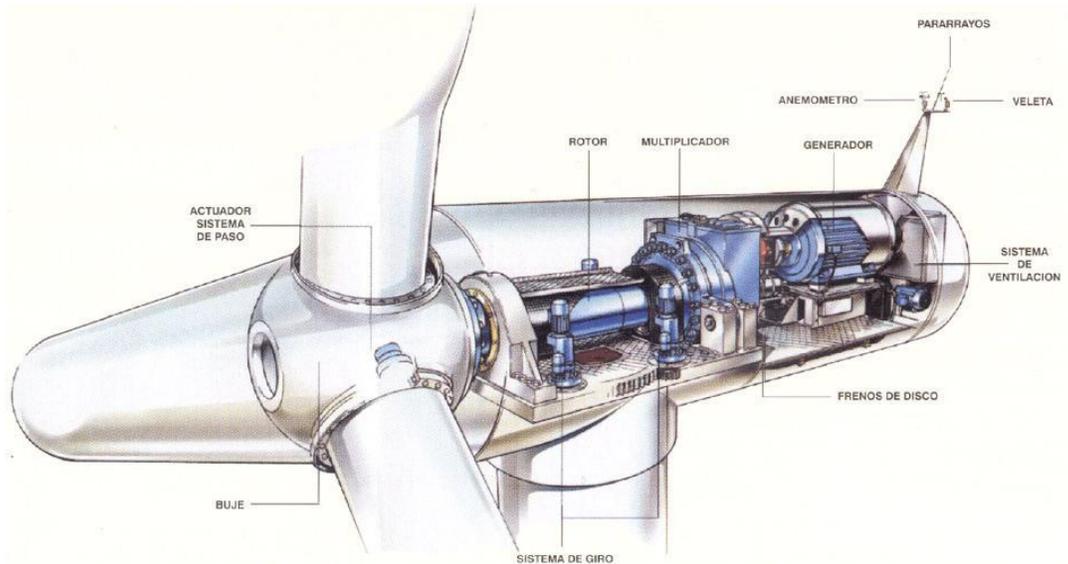


Figura 41. Esquema de los componentes de un aerogenerador.

- Buje
- Sistema Activo de Giro de Pala
- Sistema Hidráulico
- Sistema de Bloqueo del Rotor
- Mecanismo de Control de Balanceo
- Góndola
- Acoplamiento Fijo entre el Buje y el eje de Baja Velocidad
- Eje Torsor
- Dispositivos de Acoplamiento del Eje
- Muelles Torsores
- Caja Multiplicadora
- Base Vibratoria de Sujeción
- Acoplamiento Flexible
- Eje del Generador
- Freno del Rotor
- Acoplamiento Deslizante
- Unidad de Refrigeración
- Sistema Hidráulico
- Mecanismo de Orientación (Yaw Drive)
- Anemómetro y Veleta
- Controlador Electrónico
- Plataforma
- Torre (Fernández Salgado, 2011)

La definición de cada uno de los componentes se puede checar en el glosario.

6.5 Tipos de funcionamiento de un aerogenerador

Tradicional: es el sistema AC/DC/AC consiste en dos componentes; un conversor del lado del rotor y un conversor del lado de la red. Ambos son convertidores alimentados con tensión directa que utilizan dispositivos de electrónica de potencia para sintetizar una tensión alterna a partir de una fuente de tensión continua. El conversor del lado de la red se conecta a la misma mediante un sistema de inductancias trifásicas en serie, mientras el devanado se conecta de forma directa. (fig. 42) (Principios de conversión de la energía eólica)

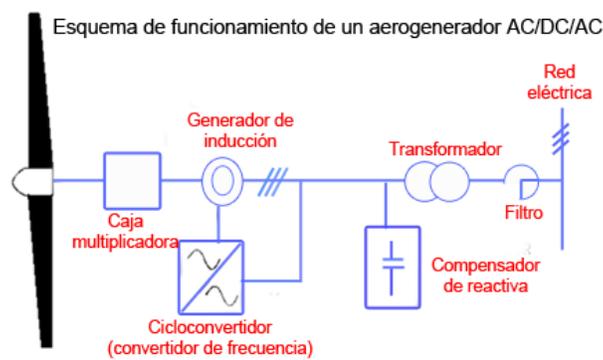


Figura 42. Esquema de funcionamiento de un aerogenerador AC/DC/AC

Híbrido (eólica-fotovoltaica): se definen como la asociación de dos o más fuentes de energía con el objetivo de generar energía eléctrica, para una determinada carga a la red. Los sistemas híbridos son normalmente compuestos por energías renovables cuyos recursos son prácticamente inagotables. (fig. 43) (Principios de conversión de la energía eólica)



Figura 43. Esquema de funcionamiento de un sistema híbrido (solar v eólica)

CAPÍTULO 7

**Fase de experimentación
para el caso estudio**



7. Fase de experimentación para el caso estudio

Como parte de las actividades a realizar durante el desarrollo de mi investigación es poner en práctica mi tema, esto lo llevaré a cabo por medio de un experimento. Para poder llevar a cabo el experimento es necesario diseñar adecuadamente el espacio donde voy a realizar el experimento, esto quiere decir, que en el diseño debo contemplar cuidadosamente todas las condiciones que se requieren para realizar las actividades que estaré ejecutando a lo largo del periodo del tiempo que tardara el experimento. Las características que debe de tener el espacio de experimentación son:

- a) El espacio debe de ser al aire libre para poder tomar las mediciones de las variables y no deben existir obstáculos que afecten las mediciones,
- b) La superficie debe contar con las condiciones adecuadas para poder montar el equipo de medición y los equipos finales, es decir, la superficie debe estar plana,
- c) El acceso al área donde se van a colocar los equipos (medición y finales) debe estar restringido con el objetivo de que ninguna persona pueda manipular o sustraer alguno de los equipos y
- d) El inmueble debe de contar con la canalización (instalaciones) y área necesaria para la instalación de los equipos.

Parte de las actividades que estaré realizando en la fase de experimentación son:

- a) Montaje de los equipos de medición de las variables,
- b) Recopilación de los datos de medición,

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

- c) cálculo del consumo total de los auditorios para poder proponer los equipos que se van a instalar en el edificio.

Es importante mencionar que el área donde tenía pensado llevar a cabo mi experimento originalmente era la Facultad de Arquitectura (UNAM), la cual se encuentra ubicada en Ciudad Universitaria. El experimento consistía en colocar los equipos (miniaerogenerador y celda fotovoltaica) en la azotea del Taller “Luis Barragán”, ya que es el punto más alto (no existen elementos que puedan afectar y/o modificar el correcto funcionamiento de los equipos) y con esto aprovechar en su totalidad el viento que sopla en todas las direcciones, para suministrar de energía eléctrica (generada por los equipos) a los Talleres “Federico Mariscal” y “Luis Barragán”. Desafortunadamente por cuestiones de terceras personas el experimento no se pudo llevar a cabo en esta zona, por lo que tuve que buscar de forma inmediata otro lugar para poder realizar el experimento. La nueva sede para mi caso de estudio para la ejecución de mi experimento son los “auditorios de la Unidad de Posgrado”, ubicados en Ciudad Universitaria. (fig. 44)



Figura 44. Vista aérea de la ubicación de los auditorios de la Unidad de Posgrado.

Recorriendo el área (azotea) para una revisión en donde se va a colocar el equipo especializado de medición me doy cuenta que en el inmueble ya se encuentra colocado un equipo de medición. Este equipo de medición es una estación meteorológica, y es propiedad del Posgrado de Diseño Industrial. Por lo tanto, ya no tendré que montar el equipo de medición que tengo.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

En cuanto a las condiciones del área puedo decir que cumplen con las características establecidas en el diseño del espacio experimental, es decir, el equipo de medición se encuentra en el punto más alto de la zona, el acceso está delimitado por una puerta (restringido) y el equipo está conectados a una computadora donde se están guardando todos los datos de medición de las variables.

La fase de experimentación la estoy dividiendo en tres etapas y son las siguientes:

- a) Primera etapa: medición de las variables.
- b) Segunda etapa: análisis y procesamiento de los datos de medición
- c) Tercera etapa: cálculo del consumo total de los auditorios para poder proponer los equipos que se van a instalar en el edificio.

A continuación se explica en que consiste cada una de las etapas.

Primera etapa: medición de las variables.

Antes que nada quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente al Laboratorio de “Interacción con el medio” por el apoyo brindado, ya que me prestaron un equipo (tipo estación meteorológica) para poder hacer las mediciones de las variables que van a interactuar en mi experimento. Los datos del equipo son los siguientes:

- Equipo de medición del clima, Mca: Kestrel, mod. 4500. (fig. 45)



Figura 45. Equipo especializado (tipo estación meteorológica) para realizar las mediciones.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

- Tripie de aluminio con veleta y base para colocar el equipo de medición Mca. Kestrel.

Desafortunadamente no utilizare este equipo especializado debido a que en la zona donde lleve a cabo mi experimento ya se encuentra instalado un equipo de medición (estación meteorológica), la razón por la cual solicite al Laboratorio de “Interacción con el medio” este equipo para realizar las mediciones de las variables que al final de cuentas ya no lo utilice en mi experimento ya la mencione anteriormente.

El equipo de medición que se encuentra instalado en la azotea del edificio de posgrado es una estación meteorológica, esto quiere decir que, es un equipo especializado para la medición de las condiciones del clima. Esto me ayudara enormemente debido a que los datos que se obtengan de las mediciones cuentan con las siguientes características:

- a) Son exactos
- b) Son veraces
- c) Son confiables.

Las especificaciones de la estación meteorológica son:

- Estación meteorológica (propiedad de Diseño Industrial): Mca. Tycon Power, mod. TP1080WC. (fig. 46)



Figura 46. Estación meteorológica (propiedad de Diseño Industrial)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Después de haber realizado un recorrido por el área para asegurarme de que cuentan con las condiciones señaladas en el diseño del espacio de experimentación para poder llevar a cabo mi experimento, puedo decir lo siguiente:

- a) La superficie de la azotea en su totalidad está en condiciones óptimas, es decir, la superficie es plana y cuenta con bastante área libre suficiente para poder instalar más adelante (tercera etapa) los equipos (miniaerogenerador y celda fotovoltaica) que estarán generando la energía eléctrica con el aprovechamiento del viento para suministrarla el inmueble por lo que no habrá la necesidad de realizar alguna modificación al espacio existente con el objetivo de adecuarlo para llevar a cabo de forma óptima cada una de las etapas del experimento. Debido a que la azotea es el punto más alto de la zona no existen en los alrededores elementos como lo son: la vegetación, alguna otra construcción colindante que sea más alta. Es importante mencionar que en la azotea se encuentran ubicados los cubos del experimento de un compañero, los cuales están retirados de las dos estaciones meteorológicas a unos 8 metros, por lo que considero que por la distancia no llegaran a afectar las mediciones que se realizan en todo momento (día y noche). Esto ayuda a que se pueda medir la velocidad del viento que viene en todas las direcciones y saber con exactitud la orientación en la que sopla el viento.
- b) El hecho de que el acceso a la azotea este controlado ayuda bastante porque no es una zona en la que se tenga una circulación de personas muy grande y son pocas las personas que accedan a la misma, por lo que no existe el riesgo de que alguien se pueda robar los equipos, que los pueda manipular (apagarlo, modificar la configuración de la medición de los datos o las variables a medir, tirarlo o desconectarlo de la corriente o de otro equipo y que los datos de medición no se guarden).
- c) Y por último el inmueble cuenta con la canalización (instalaciones) en esta área para que los equipos de medición se puedan instalar en la azotea del inmueble y como resultado puedan funcionar correctamente.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

En las siguientes imágenes se puede observar la periferia del edificio de Posgrado de la UNAM y del plantel CCH Sur.



Vistas panorámicas desde la azotea del edificio de Posgrado.



Vistas panorámicas desde la azotea del edificio principal del plantel CCH Sur

Arq. Ivan R. Valdivia Ortega 2016

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Por el tema de investigación que estoy desarrollando la variable principal que requiero medir es: velocidad del viento. Además de la variable principal es necesario realizar la medición de las siguientes variables:

- a) Orientación del viento,
- b) Temperatura,
- c) Humedad relativa,
- d) Precipitación y
- e) Presión atmosférica

La razón por la cual he seleccionado específicamente estas variables es porque considero que la interacción de cada una de éstas con el viento pueda llegar a influir en la velocidad del mismo, es decir, debe existir una correlación de variables. Para comprobar esto es necesario realizar la medición de cada de las variables antes mencionadas con equipo especializado, en este caso se utilizará la estación meteorológica que está ubicada en la azotea del edificio de la Unidad de Posgrado. Cabe señalar que la estación meteorológica está conectada a una computadora para guardar el registro de los datos de medición. Para el registro de los datos se utilizaron los siguientes programas de computadora:

1. On set hoboware Pro, version 3.3.2
2. Easyweather, version 8

Considero adecuado mencionar que tuve que realizar un oficio para la solicitud de los datos de medición dirigido al área correspondiente; el oficio fue dirigido al: Ing. Julián Covarrubias Valdivia, Jefe de área y Profesor de asignatura del área de tecnología de Posgrado en diseño Industrial, para que me facilitaran toda la información relacionada a la medición de las variables que voy a analizar. Esta información me fue muy útil, ya enriqueció enormemente el contenido de mi investigación, además de que me ayudo bastante para tener una idea de los parámetros que estoy considerando estudiar en mi experimento. Y con base a estos parámetros y otros datos podre tomar la decisión de elección para poder proponer los equipos que se van a instalar en mi caso estudio como resultado final de mi investigación.

Como lo mencione anteriormente, considero que existe una correlación de cada una de las variables con la velocidad del viento.

Relación entre la temperatura y el viento:

Como sabemos los vientos son movimientos de masas de aire que se desplazan de un lugar a otro, los cuales se crean por el distinto calentamiento de la atmosfera, dicho en otras palabras, si una masa de aire se calienta tendera a subir (se vuelve menos densa) y este espacio será ocupado por una nueva masa de aire frio (más densa).

Por lo tanto se puede decir que la relación que existe entre la temperatura y el viento es estrecha, ya que el movimiento del aire (viento) está en función de la temperatura, si el aire no se calentara o enfriara por la temperatura no se movería de un lugar a otro.

Relación entre la humedad relativa y el viento:

La humedad relativa se refiere a la relación entre la masa de vapor de agua que tiene una determinada masa de aire. Por lo tanto se considera (teóricamente) que entre más caliente este el viento contendrá mayor cantidad de vapor (humedad relativa) lo que hace que el aire se menos denso y se mueva con mayor velocidad. En cambio si la temperatura del aire es baja tendrá menor cantidad de vapor (humedad relativa) y como consecuencia será más denso y la velocidad de desplazamiento será muy baja.

Relación entre la precipitación y el viento:

Lo que se quiere saber es si las gotas de agua o granizo concentradas en una gran cantidad pueden llegar a afectar (reducir) la velocidad del viento por la fricción que se tiene con las gotas de agua o el granizo.

Relación entre la presión atmosférica y el viento:

La presión atmosférica se refiere al peso que ejerce sobre una superficie determinada del suelo la masa de aire circundante. A mayor peso del aire mayor presión.

La presión atmosférica se reduce al aumentar la humedad relativa, pues el vapor de agua pesa menos que otros gases, igualmente decrece al subir la temperatura pues el aire cálido pesa menos que el frio.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Considero importante mencionar que debido a que los datos de medición de las variables registrados por la estación meteorológica (propiedad del Posgrado de Diseño Industrial) no están completos, faltan datos de medición dentro del periodo: Abril a Octubre del 2015, tuve que utilizar los datos de medición de la estación meteorológica que está ubicada en el plantel CCH Sur, para contar con los datos faltantes y tener los datos de medición completos del periodo de tiempo de Enero del 2015 a Mayo del 2016 con el objetivo de que el análisis y procesamiento de datos sea lo más veraz y exacto posible. Los datos de medición los obtuve de la página de internet: www.ruoa.unam.mx/pembu, que corresponde al “Programa de estaciones meteorológicas del bachillerato universitario”. En la siguiente imagen se ve la ubicación de las dos estaciones meteorológicas. (fig. 47)



Fig. 47. Ubicación de las estaciones meteorológicas que se utilizaron para el registro de los datos de medición.

Las especificaciones de la estación meteorológica instalada en el plantel CCH Sur son:

- Marca: Davis, mod. Vantage Pro 2. (fig. 48)



Fig. 48. Estación meteorológica Vantage Pro 2

Segunda etapa: análisis y procesamiento de datos.

Antes que nada quiero mencionar que para fines de esta tesis sólo se trabajará con los días que cuentan con todos los datos de medición de cada una de las variables que se están considerando, es decir, se descartarán los días que no tengan el dato de medición de alguna variable o que no cuenten con ningún dato de medición.

Como mencione en la primera etapa cuento con los datos de medición de dos estaciones meteorológicas, pero para fines de esta investigación combinaré los datos de medición registrados por las dos estaciones meteorológicas para tener completo los datos de medición correspondientes a todo el año 2015 y hasta el mes de Abril del 2016.

El periodo de tiempo de los datos de medición recabados para analizar comprende del día 01 de Enero de 2015 al 26 de Abril del 2016. El lapso de tiempo para la medición de las variables es el siguiente:

1. Enero de 2015 y de Abril del 2015 a Marzo del 2016: se programó el equipo para que registrara los datos de medición a cada 30 minutos.
2. Febrero y Marzo del 2015 y Marzo del 2016: se programó el equipo para que registrara los datos de medición a cada 5 minutos.

Es importante mencionar que los datos de medición de las variables registrados por las estaciones meteorológicas corresponden a las 24 horas del día.

Para realizar un análisis y procesamiento profundo de los datos y saber realmente cual es la relación que hay de cada una de las variables con respecto a la velocidad del viento utilice las siguientes herramientas:

1. Correlación de variables
2. Coeficiente de la determinación

La explicación de cada una de estas herramientas se mencionara en los apartados correspondientes a cada una de ellas.

El análisis de los datos lo realice con los siguientes programas de computadora:

1. Excel
2. Past
3. Minitab

Los dos últimos programas son programas especializados en el análisis estadístico de datos. La razón por la que decidí utilizar estos programas es que los resultados que nos arrojan, después de haber analizado los datos, son exactos y me serán de mucha utilidad para saber realmente cual es la relación que existe entre cada una de las variables con respecto a la velocidad del viento.

La recopilación de los datos la realizaba cada mes y los vaciaba en una tabla que diseñe en Excel para llevar un perfecto control de los datos de medición registrados por la estación meteorológica (CCH Sur), gracias a que estos datos se guardaban en internet (nube) los podía consultar en cualquier lugar y hora donde estuviera, con respecto a los datos de medición de Diseño industrial me tenía que reunir con el Ing. Julián Covarrubias Valdivia para que me facilitara los datos.

Es importante señalar que los datos de medición registrados por la estación meteorológica, ubicada en el plantel CCH Sur, corresponden a los siguientes meses: Enero y de Abril a Octubre del 2015 y los datos registrados por la estación meteorológica, ubicada en la Unidad de Posgrado, corresponden a los siguientes meses: Febrero, Marzo y Diciembre del 2015 y de Enero a Abril del 2016. Los datos de medición de las variables registrados por las estaciones meteorológicas son los siguientes:

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA-

NO.	Fecha	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Presión (hpa)	Velocidad viento (m/s)	Precipitación (mm)
1	01-ene-15	13.2	62.1	771.6	2.3	0.0
2	02-ene-15	12.9	55.7	770.2	3.2	0.0
3	03-ene-15	13.1	58.3	770.6	2.1	0.0
4	04-ene-15	12.6	64.1	773.4	2.7	0.0
5	05-ene-15	9.1	73.4	776.1	3.4	0.0
6	06-ene-15	10.1	75.2	775.5	1.6	0.0
7	07-ene-15	12.6	68.1	774.5	3.4	0.0
8	08-ene-15	10.3	69.8	774.4	2.9	0.0
9	09-ene-15	10.8	68.3	772.6	2.0	0.0
10	10-ene-15	12.3	65.3	771.6	1.7	0.0
11	11-ene-15	12.6	55.6	772.3	2.3	0.0
12	12-ene-15	13.3	55.9	772.6	1.9	0.0
13	13-ene-15	13.7	51.8	772.0	1.6	0.0
14	14-ene-15	13.9	53.9	771.6	1.3	0.0
15	15-ene-15	14.1	54.4	772.1	1.8	0.0
16	16-ene-15	14.5	55.7	772.9	2.0	0.0
17	17-ene-15	14.3	55.3	773.4	1.9	0.0
18	18-ene-15	13.7	57.7	774.3	1.7	0.0
19	19-ene-15	13.6	58.7	772.6	1.2	0.0
20	20-ene-15	14.6	54.6	770.6	1.7	0.0
21	21-ene-15	15.2	59.0	769.8	1.7	0.0
22	22-ene-15	15.6	53.9	770.0	2.2	0.0
23	23-ene-15	14.6	55.1	770.3	2.4	0.0
24	24-ene-15	14.6	54.6	770.3	1.8	0.0
25	25-ene-15	13.9	60.4	771.1	1.4	0.0
26	26-ene-15	14.6	56.2	773.4	1.9	0.0

Hoja muestra con los datos de medición registrados por las estaciones meteorológicas

Datos de medición anuales

A continuación describo en que consiste cada una de la herramientas que utilice para realización del análisis y procesamiento de los datos de medición y cuáles fueron los resultados obtenidos después de haber realizado dicho análisis de cada una de las variables con respecto a la velocidad del viento.

1. Correlación de las variables.

La correlación es una técnica estadística usada para determinar la relación entre dos o más variables, esta puede ser de al menos dos variables o de una variable dependiente y dos o más variables independientes, denominada correlación múltiple.

Existen dos tipos de correlación de variables, y son:

- a) Correlación fuerte: se refiere cuando los puntos se agrupan claramente alrededor de una línea recta (imaginaria) que pasa por el centro de la masa de los mismos.
 - positiva: el valor de la variable "Y" (eje vertical) aumenta claramente con el valor de la variable "X" (eje horizontal).
 - negativa: el valor de "Y" disminuye claramente cuando "X" aumenta.
- b) Correlación débil: se da cuando los puntos no están suficientemente agrupados. Si lo que se busca es determinar las causas de un problema, se deben buscar otras variables con una relación más relevante sobre el efecto.

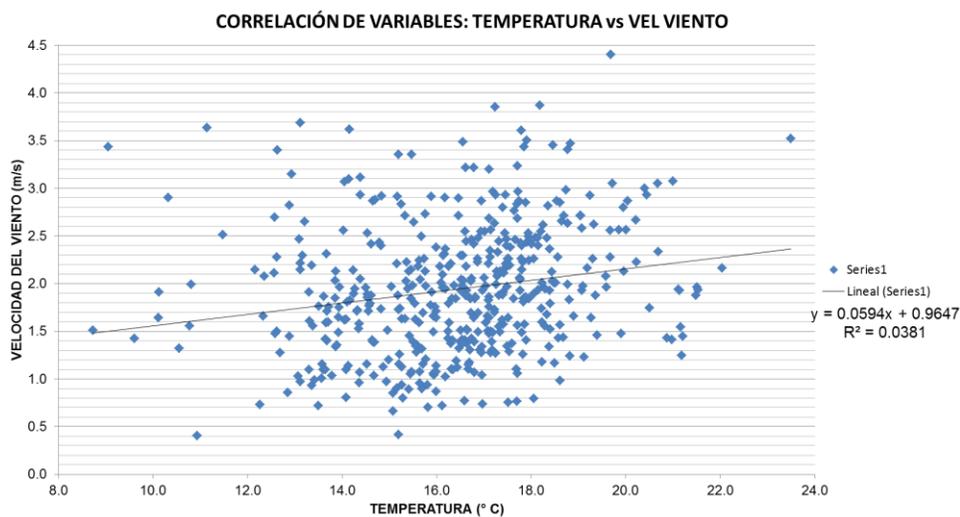
2. Coeficiente de la determinación.

Se refiere al porcentaje de la variación de la variable "Y" (dependiente) que se explica a través del comportamiento de la variable "X" (independiente). A mayor porcentaje mejor es nuestro modelo para predecir el comportamiento de la variable "Y".

Temperatura vs velocidad del viento.

Se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo que la correlación de las variables "temperatura" (independiente) y "velocidad del viento" (dependiente) no es estrecha, ya

que los puntos (datos de medición) se encuentran esparcidos en los ejes y por lo mismo no están formando una línea recta. Y si tomamos en cuenta los resultados del análisis podemos ver que el valor del coeficiente de correlación es: 0.193, es decir, el valor es diferente a 0 y es positivo, pero es muy bajo por lo que queda confirmado que la correlación de las variables es muy baja. Además de que el valor del coeficiente de determinación (R2) es: 0.038, lo que nos indica que 0.03% de la variabilidad de la velocidad del viento puede atribuirse a la relación lineal con la variable independiente, que en este caso es la temperatura. (fig. 49)



Humedad relativa vs velocidad del viento.

En la siguiente grafica de dispersión se puede apreciar que la correlación que existe entre las variables “humedad relativa” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es nula. Ya que los puntos (datos de medición) no se encuentran acomodados de forma lineal (alrededor de la línea recta imaginaria), y el valor del coeficiente de correlación es: -0.03 (diferente a 0). También podemos observar que la pendiente de la línea (imaginaria) va hacia abajo lo que nos indica una correlación negativa. Y el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.0009. Por lo que se puede deducir que la variable independiente “humedad relativa” solo tiene el .0009% de variabilidad sobre la variable dependiente que es la velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la humedad relativa tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento (fig. 50)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

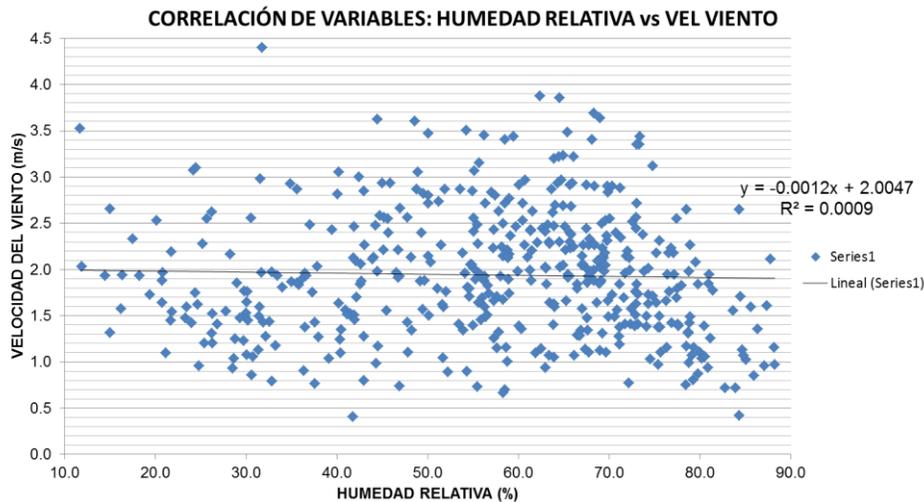


Figura 50. Gráfica de la correlación de variables Humedad relativa vs Velocidad del viento

Precipitación vs velocidad del viento.

En la gráfica se puede apreciar que todos los puntos (datos de medición) están situados sobre el eje “y”, no se encuentran acomodados a lo largo de la línea recta (imaginaria), por lo que se deduce que la correlación de las variables “precipitación” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es muy baja o casi nula. Esto queda comprobado, ya que el valor del coeficiente de correlación es: -0.034, es decir, es un valor negativo y está retirado al valor “1”. También el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.0011, lo que nos indica que 0.001% de la variabilidad de la velocidad del viento puede atribuirse a la relación lineal con la variable independiente, que en este caso es la precipitación. (fig. 51)

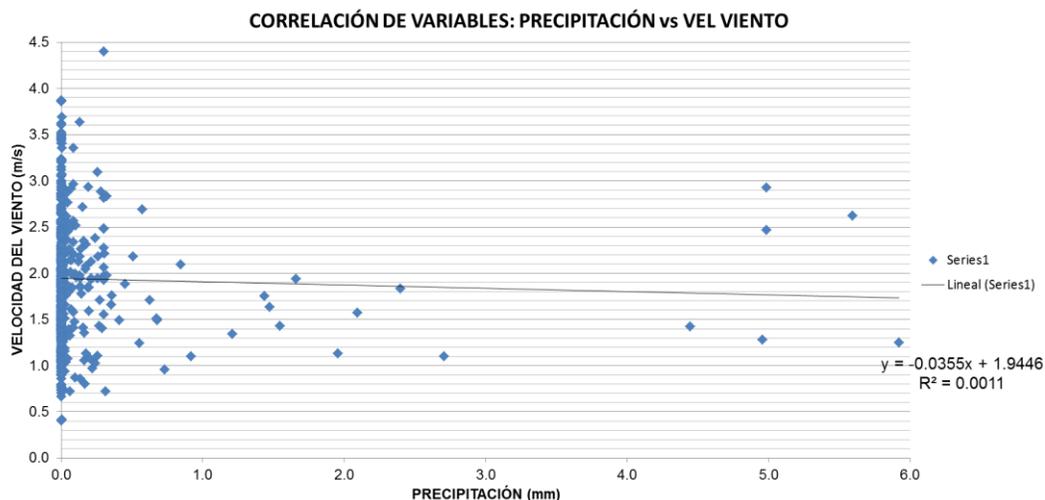


Figura 51. Gráfica de la correlación de variables Precipitación vs Velocidad del viento

Presión atmosférica vs velocidad del viento.

Como se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo los puntos (datos de medición) están acomodados en los valores cercanos a 760 y 1,000, lo cual hace que formen una línea recta vertical cuando debería de suceder lo contrario, es decir, los puntos deberían de estar acomodados de tal manera que formen una línea recta horizontal en lo mayor posible. Por lo que se deduce que la correlación entre las variables “presión atmosférica” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es nula. Si revisamos el valor de coeficiente de correlación podemos ver que es: -0.328, lo que nos indica que la correlación que existe en las variables es nula (negativa). Y el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.109, lo que nos indica que la variable independiente “presión” solo tiene el .109% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: de velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la presión tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento. (fig. 52)

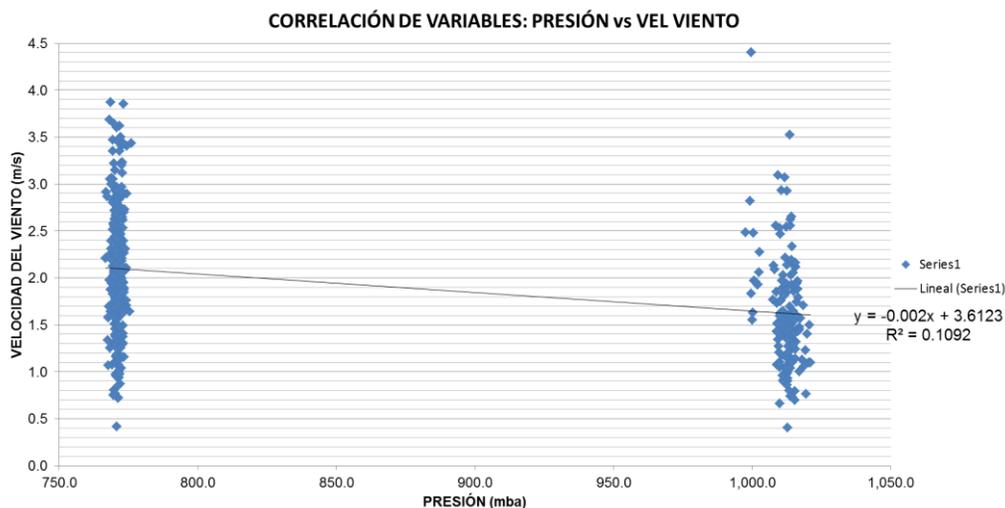


Figura 52. Gráfica de la correlación de variables Presión atmosférica vs Velocidad del viento

Datos de medición por estación del año

Invierno

Temperatura vs velocidad del viento

Se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo que la correlación de las variables “temperatura” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) no es estrecha, ya que los puntos (datos de medición) se encuentran esparcidos en los ejes y por lo mismo no están formando una línea recta. Y si tomamos en cuenta los resultados del análisis podemos ver que el valor del coeficiente de correlación es: 0.08, es decir, el valor es diferente a 0, lo que nos confirma que la correlación de las variables es muy baja. Mientras que el valor del coeficiente de determinación es igual a 0.0063, lo que nos indica que la variable independiente “temperatura” solo tiene el .006% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 53)

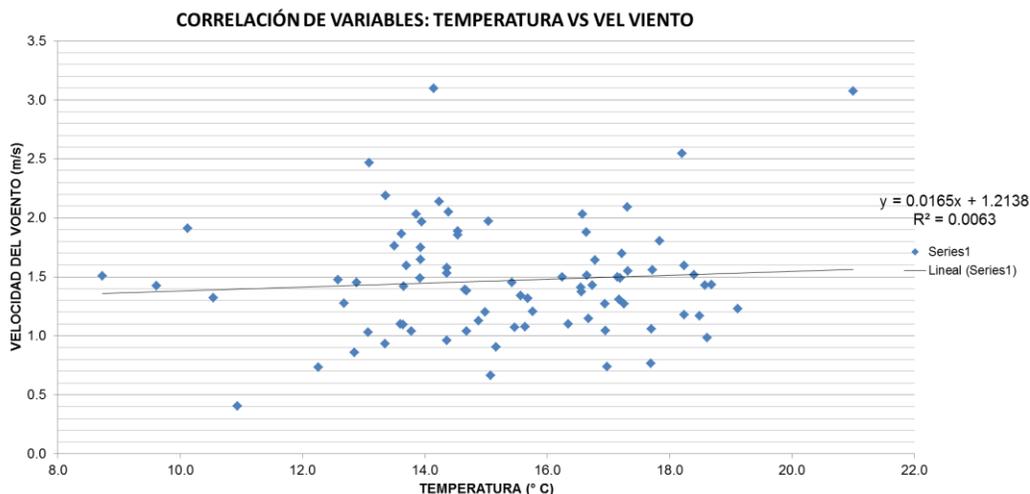


Figura 53. Gráfica de correlación de las variables Temperatura vs Velocidad del viento

Humedad relativa vs velocidad del viento.

En la siguiente grafica de dispersión se puede apreciar que la correlación que existe entre las variables “humedad relativa” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es nula. Ya que los puntos (datos de medición) no se encuentran acomodados de forma lineal (alrededor de la línea recta imaginaria), y el valor del coeficiente de correlación es: -0.179 (diferente a 0). También podemos observar que la pendiente de la línea (imaginaria) va hacia abajo lo que nos indica una correlación negativa. En cuanto al valor del coeficiente de determinación es igual a 0.0318, lo que equivale al 0.0318% de variabilidad de la variable “Humedad relativa” sobre la variable “velocidad del viento”. (fig. 54)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

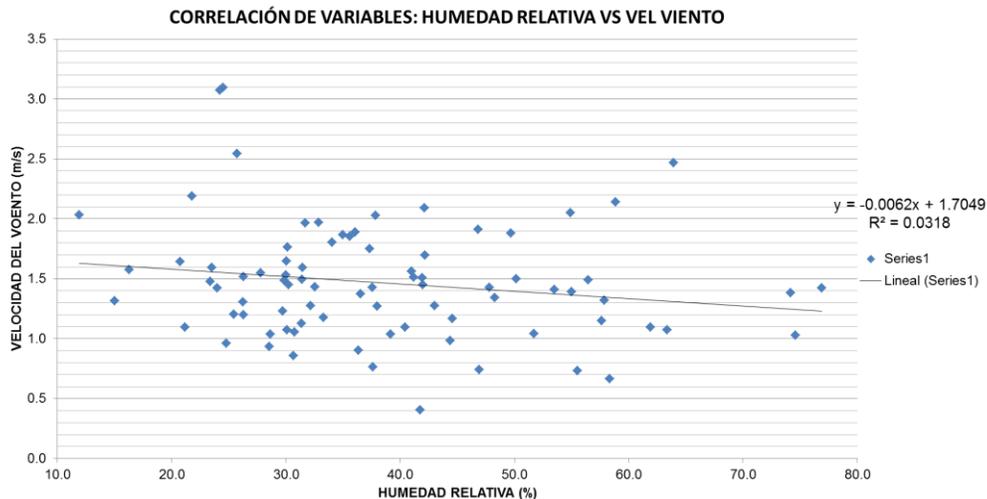


Figura 54. Gráfica de correlación de las variables Humedad relativa vs Velocidad del viento

Precipitación vs velocidad del viento.

En la gráfica se puede apreciar que todos los puntos (datos de medición) están situados sobre el eje “y” no se encuentran acomodados a lo largo de la línea recta (imaginaria), por lo que se deduce que la correlación de las variables “precipitación” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es muy baja o casi nula. Si revisamos el valor del coeficiente de correlación que es: 0.18 nos confirma que la correlación es muy baja, ya que el valor está alejado al valor “1”. En lo que respecta al valor del coeficiente de determinación es: 0.0316, lo que equivale al 0.03% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. Los valores “4.5 y 5” corresponden a los primeros días de Enero del 2016, cuando se llegan a presentar algunas lluvias anormales. (fig. 55)

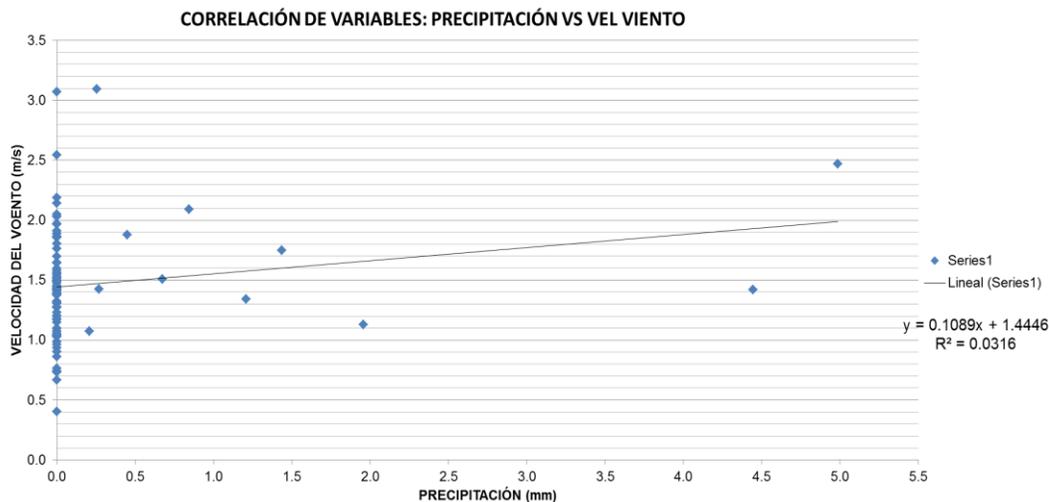


Figura 55. Gráfica de correlación de las variables Precipitación vs Velocidad del viento

Presión atmosférica vs velocidad del viento.

Como se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo los puntos (datos de medición) están acomodados alrededor de la línea imaginaria, lo que nos indica que la correlación es buena, Sin embargo, si revisamos el valor de correlación es de: -0.24, el valor es muy bajo y negativo, por lo que la correlación entre las variables es nula. Y el valor del coeficiente de determinación es: 0.057, lo que nos indica que lo que nos indica que la variable independiente “temperatura” solo tiene el .05% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 56)

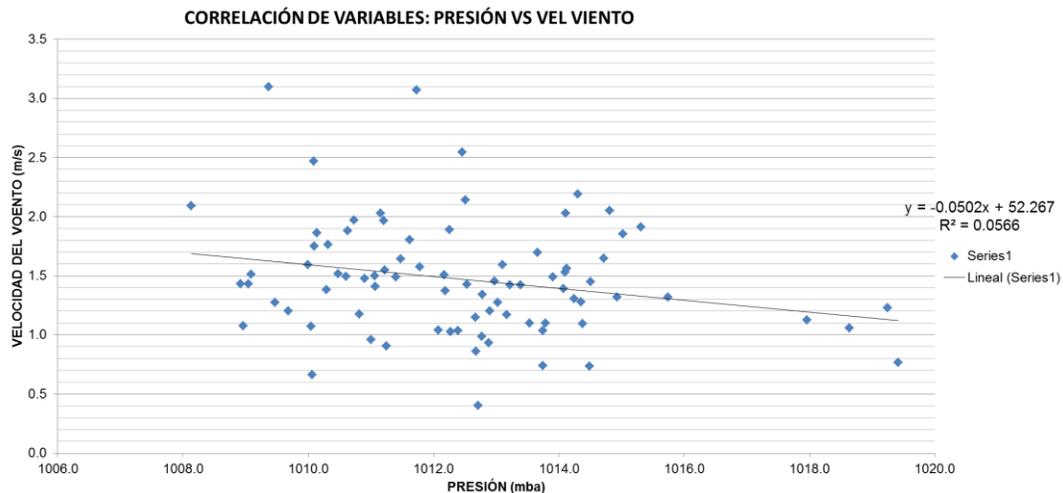


Figura 56. Gráfica de correlación de las variables Presión vs Velocidad del viento

Primavera

Temperatura vs velocidad del viento

Se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo que la correlación de las variables “temperatura” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es algo estrecha, ya que los puntos (datos de medición) se encuentran esparcidos alrededor de línea recta imaginaria. Y si tomamos en cuenta los resultados del análisis podemos ver que el valor del coeficiente de correlación es: 0.48, es decir, el valor es diferente a 0 y positivo, lo que nos confirma que la correlación de las variables es buena. Y el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.23, lo que nos indica que la variable independiente “temperatura” solo tiene el 0.23% de variabilidad sobre la variable dependiente que es:

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la temperatura tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento. (fig. 57)

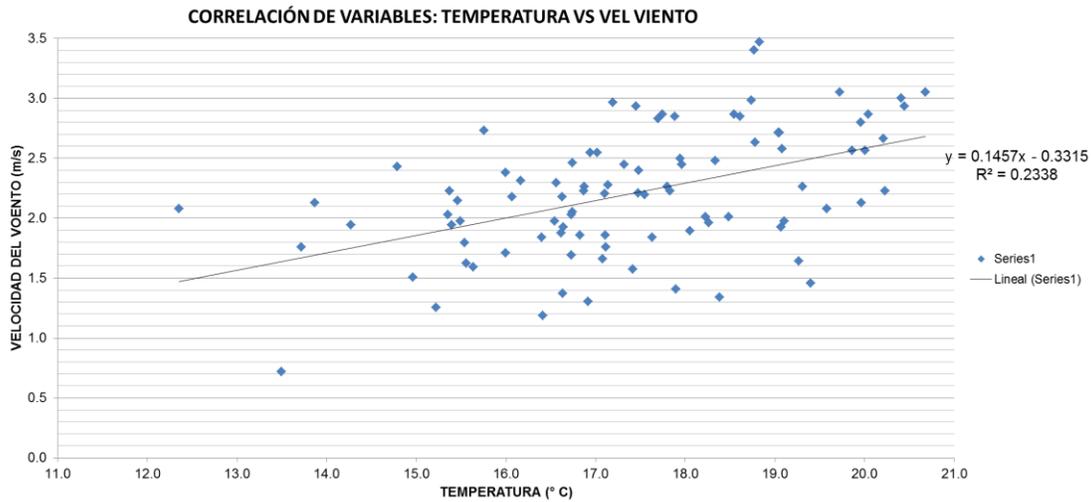


Figura 57. Gráfica de correlación de las variables Temperatura vs Velocidad del viento

Humedad relativa vs velocidad del viento.

En la siguiente grafica de dispersión se puede apreciar que la correlación que existe entre las variables “humedad relativa” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es baja. Ya que los puntos (datos de medición) no se encuentran acomodados de forma lineal (alrededor de la línea recta imaginaria), y el valor del coeficiente de correlación es: -0.625 (diferente a 0). También podemos observar que la pendiente de la línea (imaginaria) va hacia abajo lo que nos indica una correlación negativa. En cuanto al valor del coeficiente de determinación es igual a 0.3879, lo que equivale al 0.38% de variabilidad. (fig. 58)

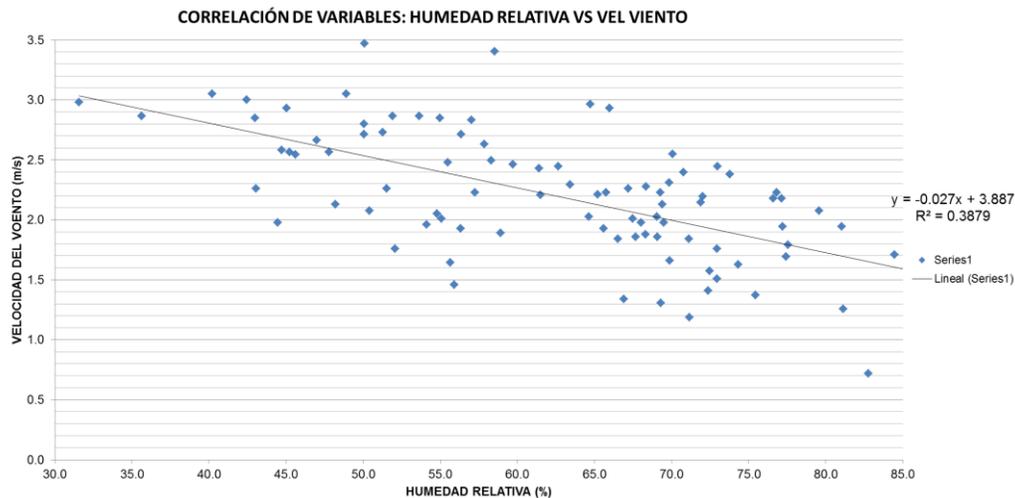


Figura 58. Gráfica de correlación de las variables humedad relativa vs Velocidad del viento

Precipitación vs velocidad del viento.

En la gráfica se puede apreciar que todos los puntos (datos de medición) están situados sobre el eje “y” no se encuentran acomodados a lo largo de la línea recta (imaginaria), por lo que se deduce que la correlación de las variables “precipitación” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es muy baja o casi nula. Y si revisamos el valor del coeficiente de correlación que es: -0.21 esto nos indica que la correlación es nula, ya que el valor está retirado al valor “1”y es negativo. Y el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.0456, lo que nos indica que la variable independiente “precipitación” solo tiene el .045% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la precipitación tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento. (fig. 59)

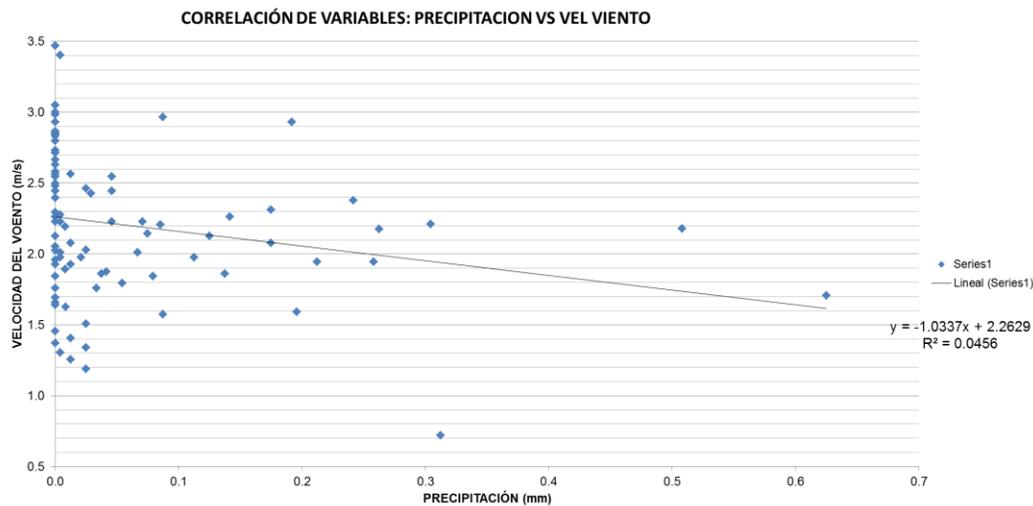


Figura 59. Gráfica de correlación de las variables Precipitación vs Velocidad del viento

Presión atmosférica vs velocidad del viento.

Como se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo los puntos (datos de medición) están acomodados sobre el eje “Y” y no alrededor de la línea imaginaria, lo que nos indica que la correlación es baja, Esto queda comprobado son el valor de correlación que es de: -0.056, el valor es muy bajo y negativo. En lo que respecta al valor del coeficiente de determinación es: 0.0031, lo que equivale al 0.0031% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 60)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

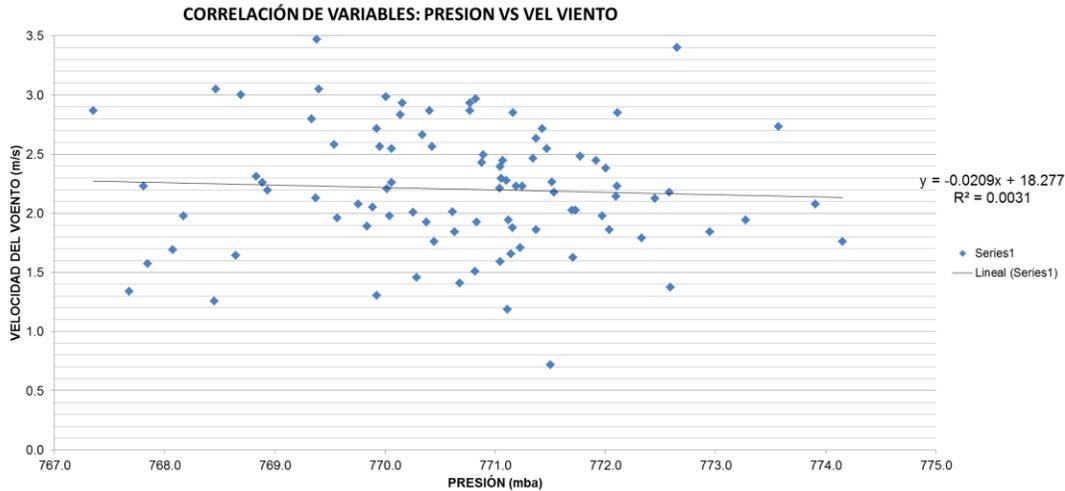


Figura 60. Gráfica de correlación de las variables presión vs Velocidad del viento

Verano

Temperatura vs velocidad del viento

Se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo que la correlación de las variables “temperatura” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es poco estrecha, ya que los puntos (datos de medición) se encuentran esparcidos alrededor de línea recta imaginaria. Y si tomamos en cuenta los resultados del análisis podemos ver que el valor del coeficiente de correlación es: 0.336, es decir, el valor es diferente a 0 y positivo, lo que nos confirma que la correlación de las variables es buena. En lo que respecta al valor del coeficiente de determinación es: 0.1125, lo que equivale al 0.1125% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 61)

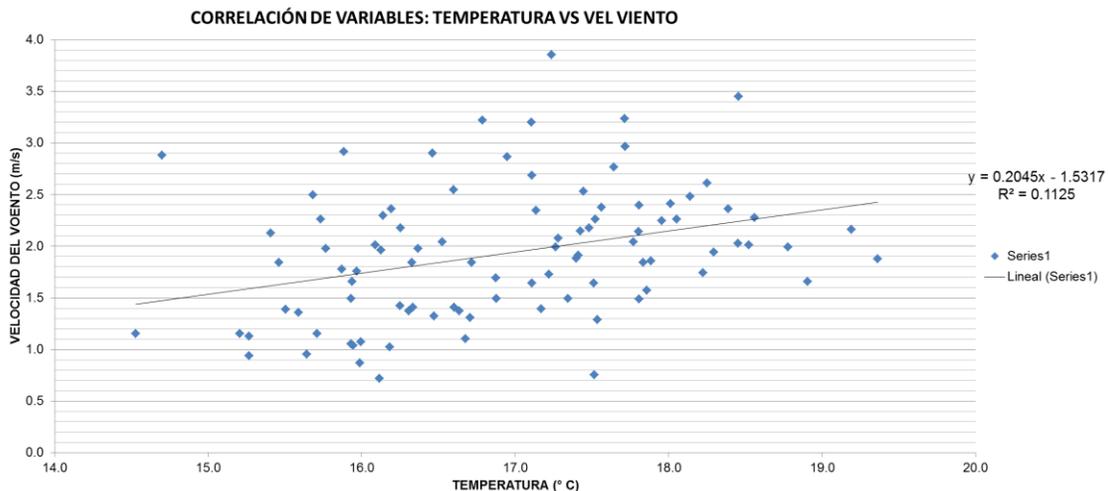


Figura 61. Gráfica de correlación de las variables temperatura vs Velocidad del viento

Humedad relativa vs velocidad del viento.

En la siguiente grafica de dispersión se puede apreciar que la correlación que existe entre las variables “humedad relativa” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es baja. Ya que los puntos (datos de medición) no se encuentran acomodados de forma lineal (alrededor de la línea recta imaginaria), y el valor del coeficiente de correlación es: -0.641 (diferente a 0). También podemos observar que la pendiente de la línea (imaginaria) va hacia abajo lo que nos indica una correlación negativa. Y el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.4091, lo que nos indica que la variable independiente “humedad relativa” solo tiene el .4091% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la humedad relativa tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento. (fig. 62)

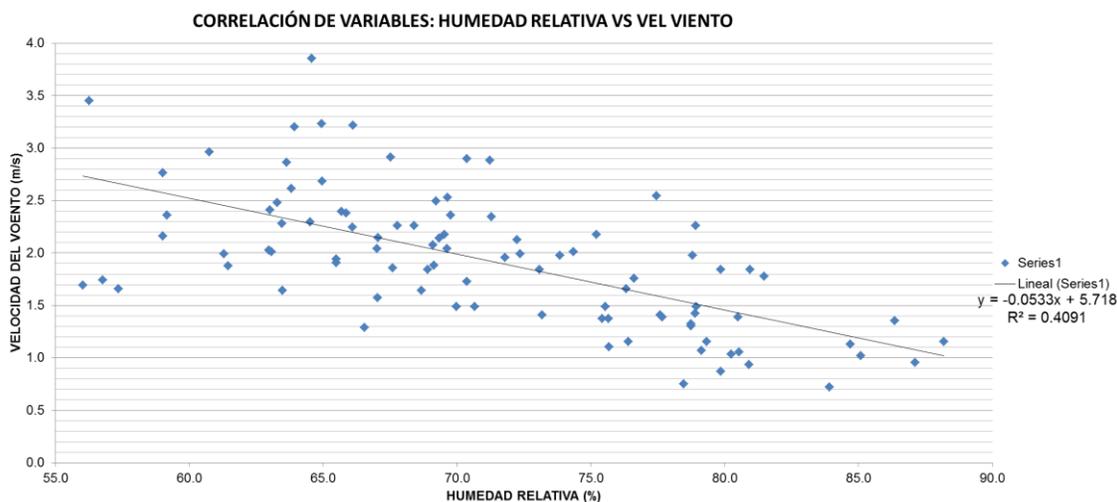


Figura 62. Gráfica de correlación de las variables humedad relativa vs Velocidad del viento

Precipitación vs velocidad del viento.

En la gráfica se puede apreciar que todos los puntos (datos de medición) están situados sobre el eje “y” no se encuentran acomodados a lo largo de la línea recta (imaginaria), por lo que se deduce que la correlación de las variables “precipitación” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es muy baja o casi nula. Y si revisamos el valor del coeficiente de correlación que es: -0.184 esto nos indica que la correlación es nula, ya que el valor está retirado al valor “1”. En lo que respecta al valor del coeficiente de

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

determinación es: 0.0379, lo que equivale al 0.037% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 63)

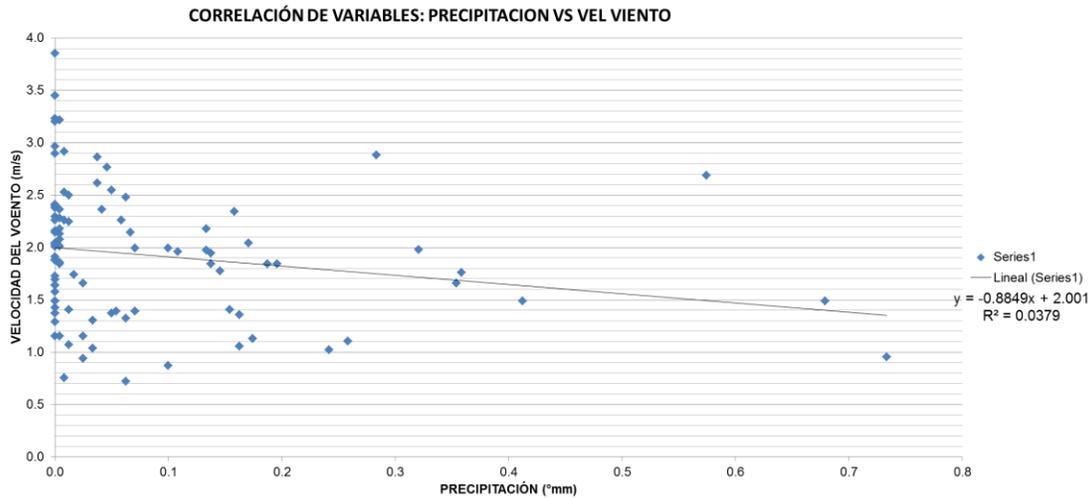


Figura 63. Gráfica de correlación de las variable precipitación vs velocidad del viento

Presión atmosférica vs velocidad del viento.

Como se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo los puntos (datos de medición) están acomodados alrededor de la línea imaginaria, lo que nos indica que la correlación es buena, Pero si revisamos el valor de correlación que es de: 0.139 queda comprobado que la correlación entre las variables es muy baja. En lo que respecta al valor del coeficiente de determinación es: 0.019, lo que equivale al 0.019% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 64)

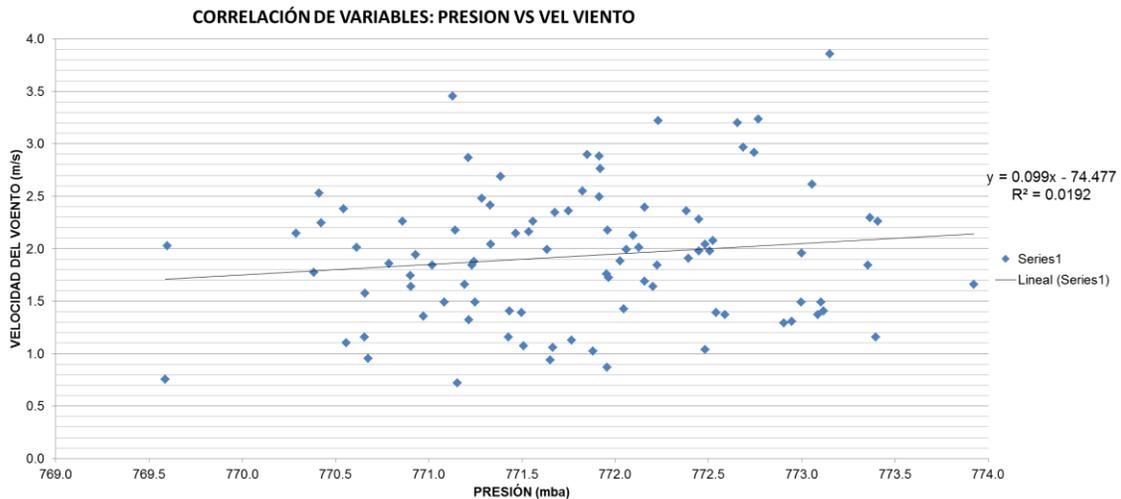


Figura 64. Gráfica de correlación de las variable precipitación vs velocidad del viento

Otoño

Temperatura vs velocidad del viento

Se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo que la correlación de las variables “temperatura” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es poco estrecha, ya que los puntos (datos de medición) se encuentran esparcidos alrededor de línea recta imaginaria. Y si tomamos en cuenta los resultados del análisis podemos ver que el valor del coeficiente de correlación es: 0.259, es decir, el valor es diferente a 0 y positivo, lo que nos confirma que la correlación de las variables es algo estrecha. En lo que respecta al valor del coeficiente de determinación es: 0.067, lo que equivale al 0.067% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento. (fig. 65)

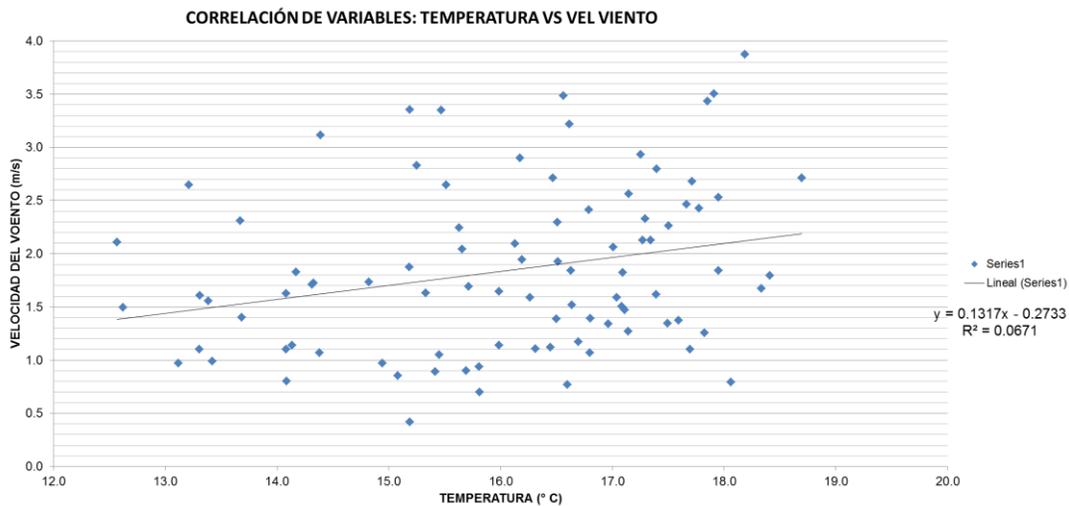


Figura 65. Gráfica de correlación de las variable temperatura vs velocidad del viento

Humedad relativa vs velocidad del viento.

En la siguiente grafica de dispersión se puede apreciar que la correlación que existe entre las variables “humedad relativa” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es nula. Ya que los puntos (datos de medición) no se encuentran acomodados de forma lineal (alrededor de la línea recta imaginaria), y el valor del coeficiente de correlación es: -0.05 (diferente a 0) y la pendiente de la línea (imaginaria) va hacia abajo lo que nos indica una correlación negativa. (fig. 66)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

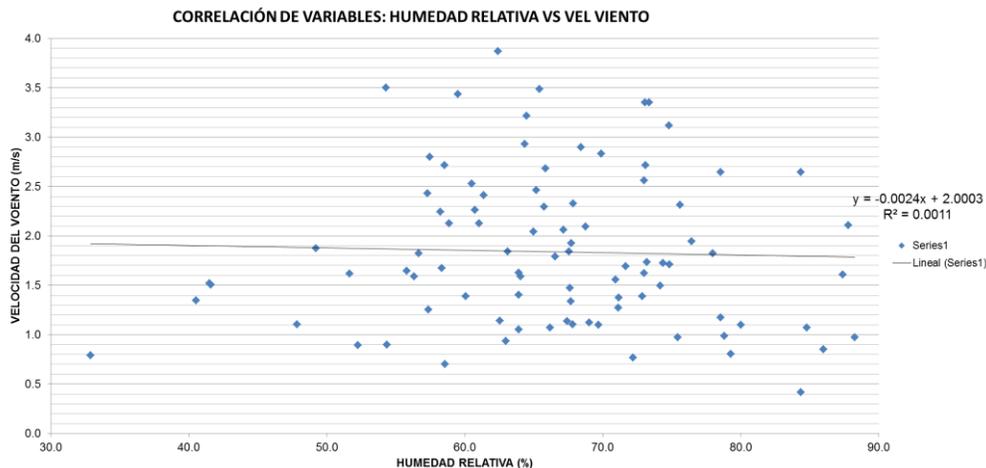


Figura 66. Gráfica de correlación de las variable humedad relativa vs velocidad del viento

Precipitación vs velocidad del viento.

En la gráfica se puede apreciar que todos los puntos (datos de medición) están situados sobre el eje “y” no se encuentran acomodados a lo largo de la línea recta (imaginaria), por lo que se deduce que la correlación de las variables “precipitación” (independiente) y “velocidad del viento” (dependiente) es casi nula. Y si revisamos el valor del coeficiente de correlación que es: -0.132 esto nos indica que la correlación es nula, ya que el valor está retirado al valor “1”. Y el valor del coeficiente de la determinación es igual a 0.016, lo que nos indica que la variable independiente “precipitación” solo tiene el 0.016% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la precipitación tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento. (fig. 67)

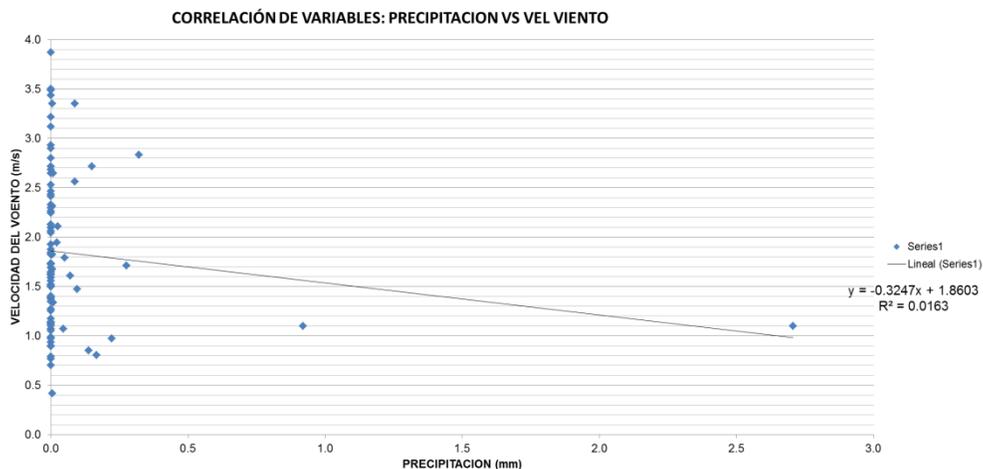


Figura 67. Gráfica de correlación de las variable precipitación vs velocidad del viento

Presión atmosférica vs velocidad del viento.

Como se puede observar en la gráfica de dispersión de abajo los puntos (datos de medición) están ligeramente acomodados alrededor de la línea imaginaria, lo que nos indica que la correlación es baja, Esto queda confirmado si revisamos el valor de correlación que es de: -0.331, este valor está muy retirado del valor “1”. En lo que respecta al valor del coeficiente de determinación es: 0.1451, lo que nos indica que la variable independiente “presión” solo tiene el 0.14% de variabilidad sobre la variable dependiente que es: velocidad del viento, esto quiere decir, que los cambios que sufre la presión tienen una influencia muy baja sobre la velocidad del viento. (fig. 68)

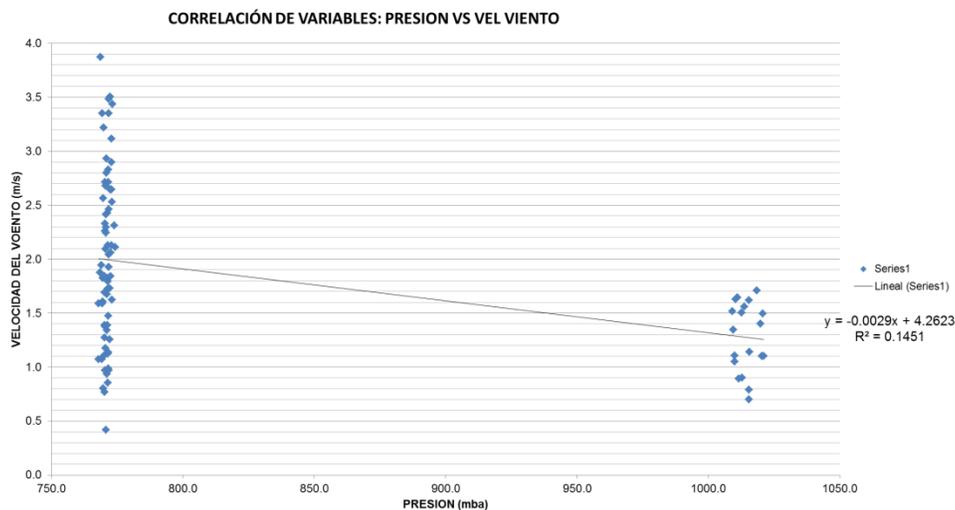


Figura 68. Gráfica de correlación de las variable presión vs velocidad del viento

Después de haber procesado y analizado los datos de medición registrados por las estaciones meteorológicas mediante los métodos mostrados anteriormente, se comprobó que no existe una correlación estrecha entre la velocidad del viento (dependiente) con cada una de las demás variables (independientes), por lo que decidí enfocarme a estudiar específicamente la variable que me interesa, que es: la velocidad del viento.

Las gráficas que se muestran a continuación contienen los datos de medición de las variables correspondientes a todo un año. En la gráfica de abajo podemos observar el comportamiento, a lo largo de todo el periodo de tiempo que se realizaron las mediciones: Enero del 2015 a Abril del 2016, de cada una de las variables que se consideraron en la investigación. (fig. 69)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

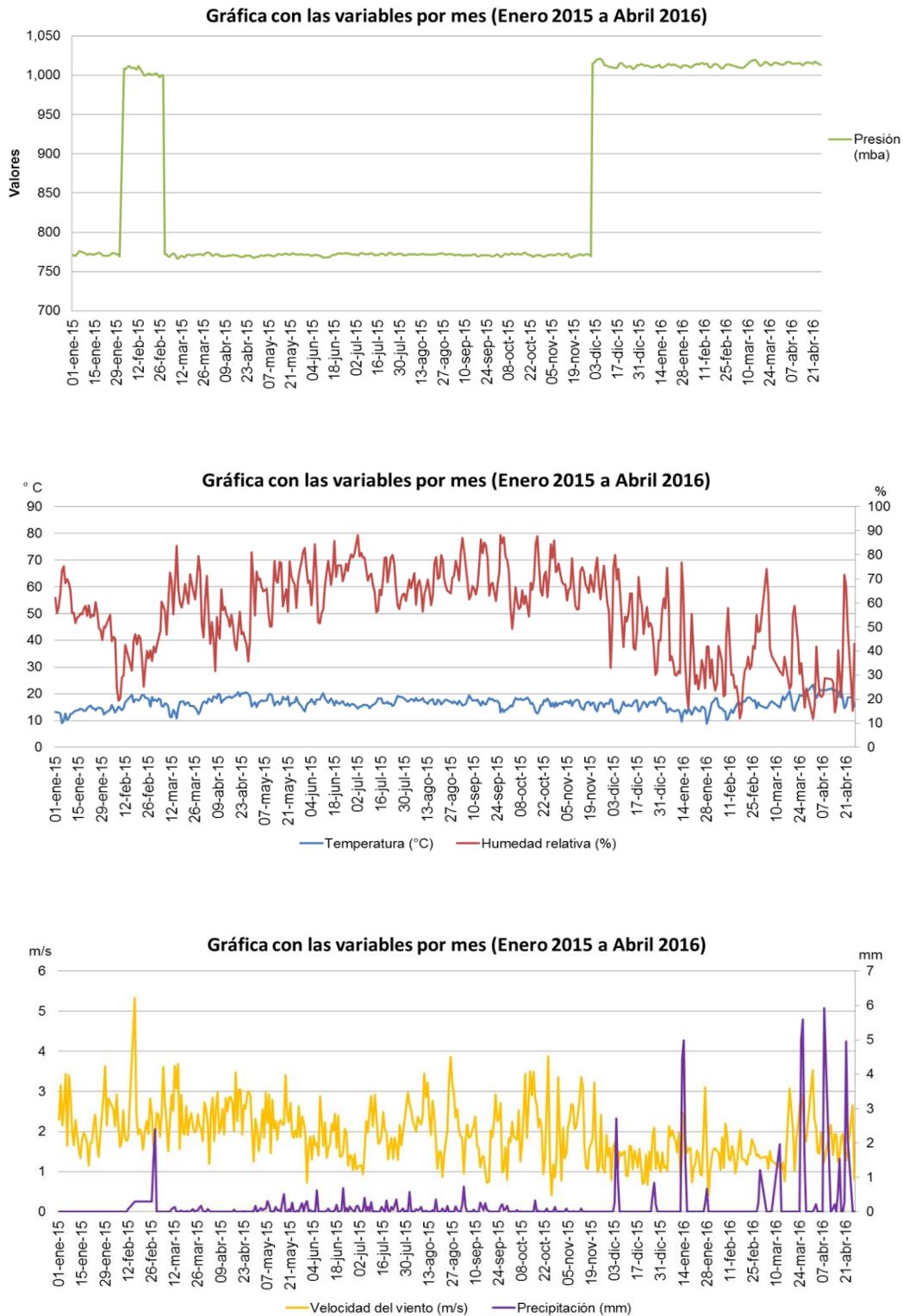


Figura 69. Gráfica con los datos de medición de las variables correspondientes a todo el periodo de tiempo (enero 15 a Abril 16)

Arq. Ivan R. Valdivia Ortega 2016

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

En la siguiente gráfica se puede apreciar que las mayores velocidades del viento se alcanzaron en los meses:

- En el mes de Febrero del 2015 se registró una velocidad del viento de 5.3 m/s,
- En el mes de Marzo del 2015 se registró una velocidad del viento de 5.4 m/s
- De nuevo en el mes de Marzo del 2016 se registró una velocidad del viento de 6.1 m/s. También podemos ver que el rango de la velocidad del viento que predomina en la Ciudad de México es de 1 a 3.5 m/s. (fig. 70)

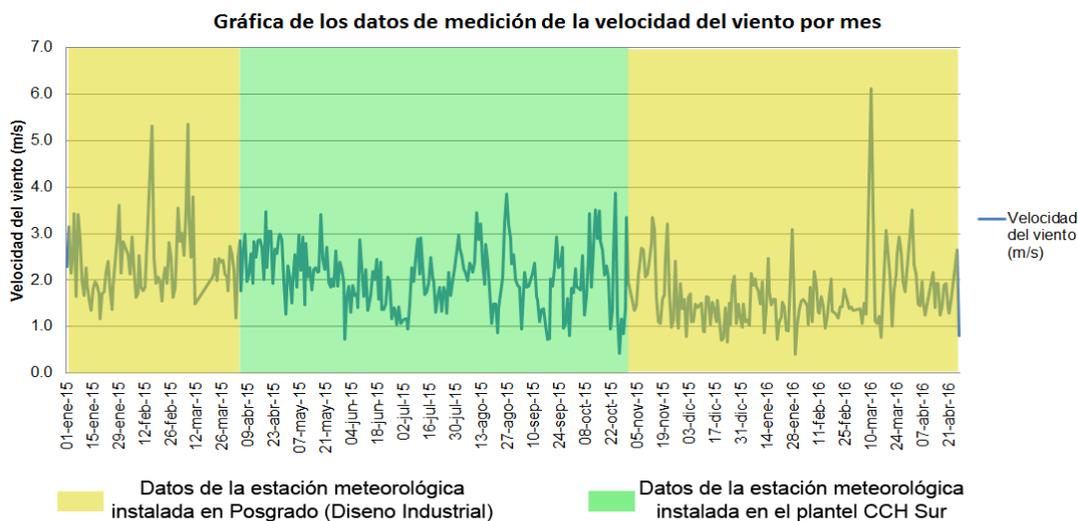


Figura 70. Gráfica con las velocidades (promedio) de cada día de cada mes

Es importante aclarar que las velocidades del viento superiores a los 6 m/s corresponden a los días de Marzo del 2016 cuando se presentaron fuertes vientos.

En la siguiente gráfica podemos ver las velocidades máximas del viento (datos de medición) registradas por las estaciones meteorológicas correspondientes al periodo de medición del 1 de Enero del 2015 al 26 de Abril del 2016. Para todos los meses la velocidad de viento mínima registrada es de 0 m/s. Para el mes de Febrero del 2015 la velocidad máxima es de: 11.6 m/s, para el mes de Marzo del 2015 la velocidad máxima es de: 15.3 m/s, para el mes de Mayo del 2015 la velocidad máxima es de: 12.1 m/s y para el mes de Marzo del 2016 la velocidad del viento es de: 13.3 m/s. Por lo que se puede decir que en la Ciudad de México se tiene la velocidad de viento mínima necesaria para que funcione correctamente un mini-aerogenerador y produzca electricidad. (fig. 71)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

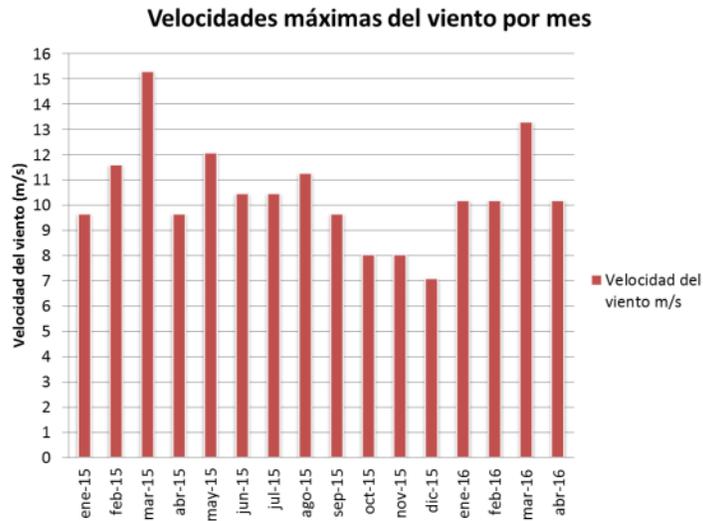


Figura 71. Gráfica con las velocidades máximas del viento por mes.

La siguiente gráfica nos muestra la velocidad del viento promedio en cada uno de los meses. Registrándose para el mes de Diciembre del 2015 la velocidad del viento promedio más baja de todo el periodo de medición, esta velocidad equivale a 1.3 m/s, para los meses de Enero, Febrero, Mayo, Agosto, Octubre del 2015 y Marzo del 2016 la velocidad del viento se mantiene por encima de los 2 m/s. Para el mes de Abril del 2015 se tiene la velocidad del viento intermedia que equivale a 2.5 m/s y en el mes de Marzo del 2015 se registró la velocidad promedio más alta, correspondiente a 2.8 m/s. (fig. 72)

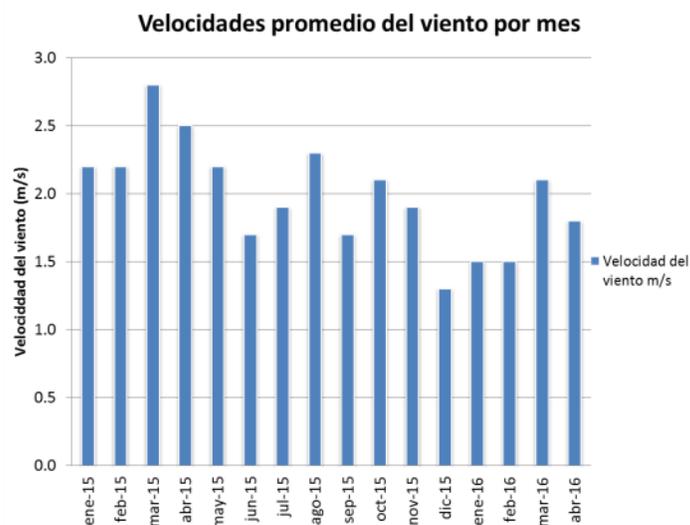


Figura 72. Gráfica con las velocidades promedio del viento por mes.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Cuando se está estudiando el viento, además de analizar los datos de medición para saber su comportamiento, las velocidades mínimas y máximas y velocidad promedio, también es necesario vaciar toda esta información en una rosa de viento para saber en qué direcciones (orientaciones) sopla, cuál es la frecuencia (número de veces que sopla el viento en la misma dirección). Y con base a esta información obtener la orientación predominante en que sopla el viento.

En la siguiente rosa de viento se muestran los datos correspondientes al rango de velocidades del viento referenciados a cada una de las orientaciones en la que sopló el viento. Se puede apreciar que en las orientaciones en las que sopló menos el viento son: este-suroeste, oeste-suroeste (de 8 a 9 m/s). Las orientaciones que le siguen son: sur-suroeste, sur-sureste con un rango de velocidad de 9 a 10 m/s. Después se encuentran las orientaciones sureste, nor-noreste y noroeste con una velocidad de 12 a 13 m/s y las orientaciones sureste, nor-noreste y noroeste con una velocidad de 12 a 13 m/s y las orientaciones norte y este cuentan con la mayor velocidad de viento equivalente a 15 m/s (fig. 73)

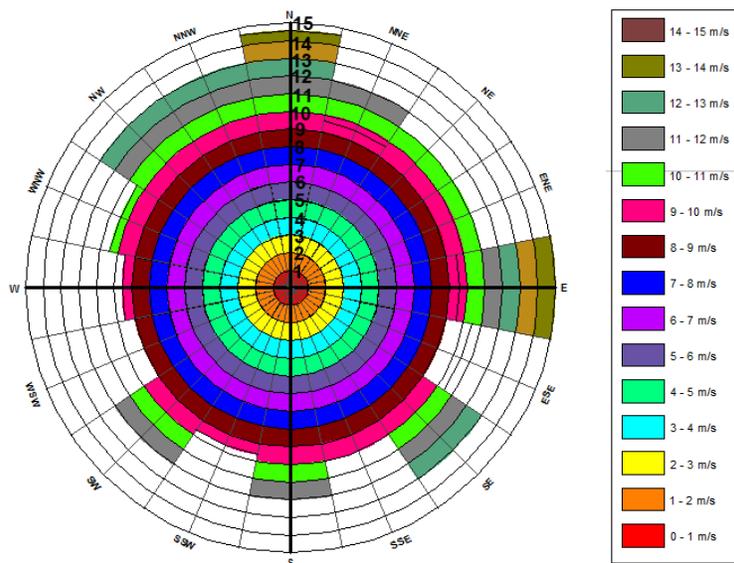


Figura 73. Rosa de vientos con el rango de las velocidades del viento por orientación

En la siguiente rosa de vientos podemos observar la velocidad del viento promedio por orientación. La velocidad del viento promedio que se tiene en la mayoría de las orientaciones corresponde a 0 a 3 m/s. Las orientaciones sur-oeste, sur-suroeste cuentan con

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

una velocidad de viento de 4 a 5 m/s y la orientación con la mayor velocidad del viento registrada es: nor-noroeste con una velocidad de 7 a 8 m/s. (fig. 74)

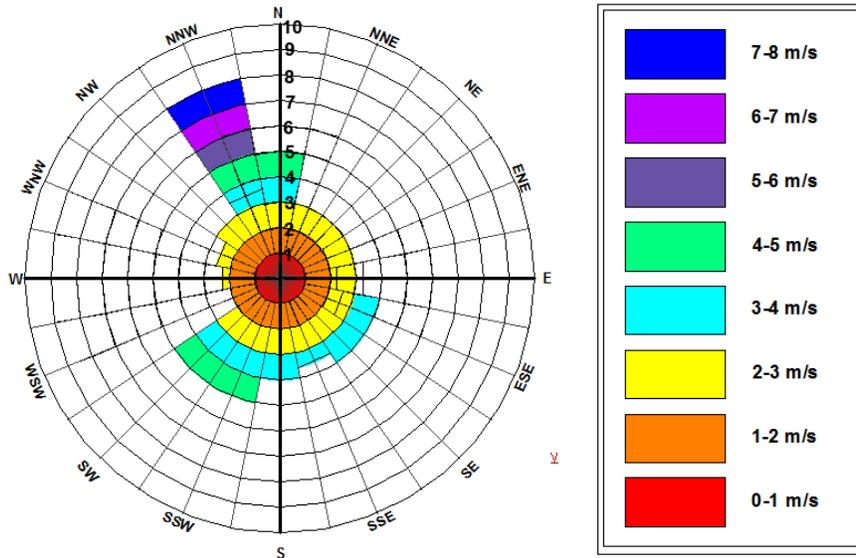


Figura 74. Rosa de vientos con la velocidad promedio del viento por orientación

Por último tenemos la rosa de vientos con el número de veces que sopló el viento en una misma orientación (frecuencia). La rosa de vientos nos muestra que la frecuencia con que sopla el viento en la mayoría de las orientaciones es del 40% y le sigue el 50% al 60% para las orientaciones sur y noroeste. El 100% corresponde a las orientaciones suroeste y noroeste. (fig. 75)

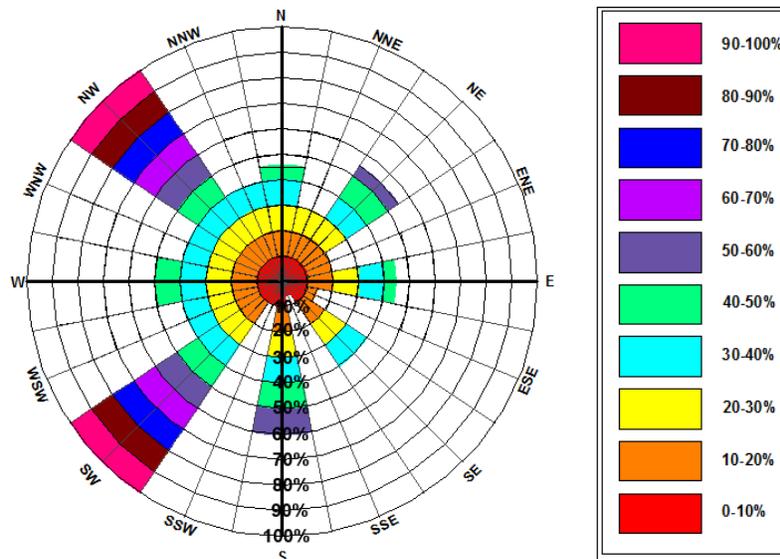


Figura 75. Rosas de vientos con la frecuencia con la que sopló el viento en cada orientación

Datos de medición correspondientes a la velocidad del viento por estación del año

Invierno

En la siguiente gráfica se puede apreciar que las mayores velocidades del viento se alcanzaron en los meses:

- a) En el mes de Enero del 2016 se registró una velocidad del viento de 3.1 m/s,
- b) En el mes de Marzo del 2016 se registró una velocidad del viento de 6.1 m/s.

Se puede observar que el rango de las velocidades predominantes va de 0.5 m/s a 2.5 m/s en la Ciudad de México. (fig. 76)

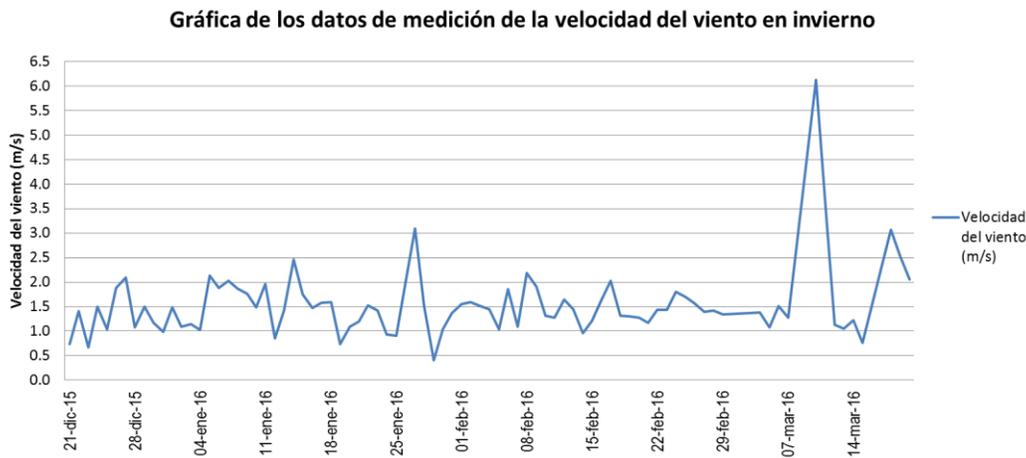


Figura 76. Gráfica con la velocidad del viento durante el invierno

En la siguiente gráfica podemos ver las velocidades máximas del viento (datos de medición) registradas por las estaciones meteorológicas correspondientes a la estación del año “invierno” (21-Dic-15 al 20-Mar-16). Para el mes de Diciembre le corresponde la velocidad de viento mínima equivalente a 7.1 m/s y para el mes de Marzo del 2016 la velocidad máxima es de: 13.3 m/s. La velocidad mínima equivale a 0. (fig. 77)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-



Figura 77. Gráfica con las velocidades máximas del viento durante el invierno

La siguiente gráfica nos muestra la velocidad del viento promedio durante el invierno. Registrándose para el mes de Diciembre del 2015 la velocidad del viento promedio más baja de todo el periodo de medición, equivalente a 1.3 m/s, para el mes de Marzo del 2016 la velocidad del viento se mantiene por encima de los 2 m/s. (fig. 78)

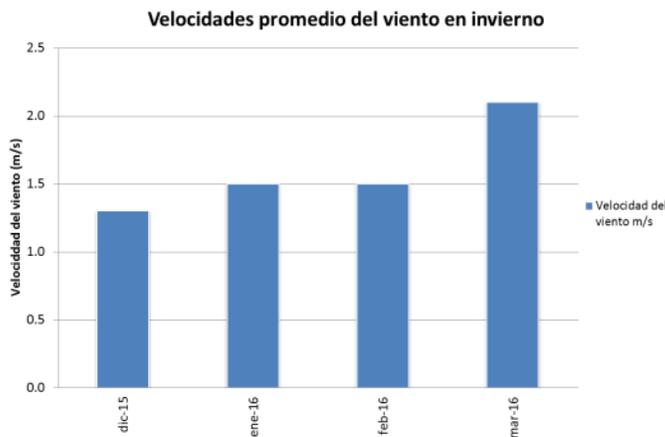


Figura 78. Gráfica con las velocidades promedio del viento durante el invierno

Primavera

En la siguiente gráfica se puede apreciar que las mayores velocidades del viento se alcanzaron en los meses:

- En el mes de Abril del 2015 se registró una velocidad del viento de 3.5 m/s,
- En el mes de Mayo del 2015 se registró una velocidad del viento de 3.4 m/s.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Se puede observar que el rango de las velocidades predominantes va de 1.2 m/s a 3 m/s en la Ciudad de México. (fig. 79)

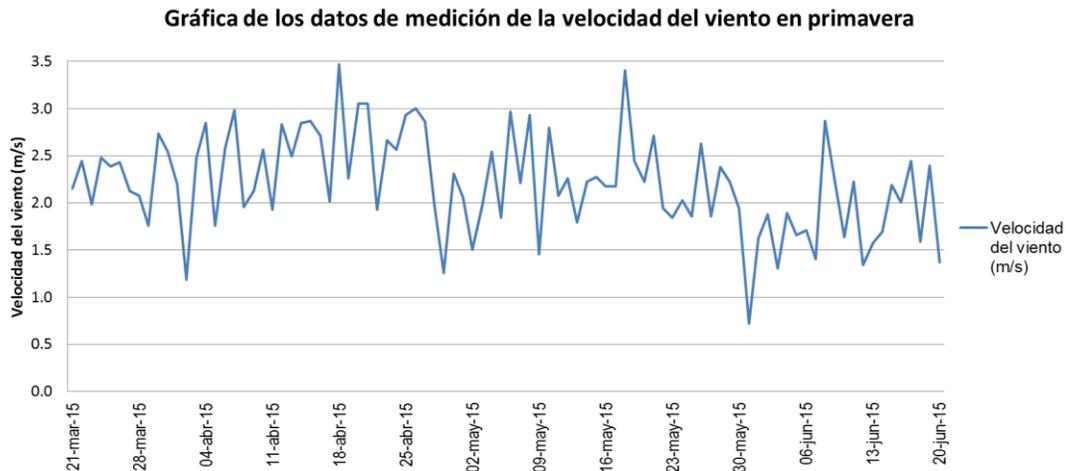


Figura 79. Gráfica con la velocidad del viento durante primavera

En la siguiente gráfica podemos ver las velocidades máximas del viento (datos de medición) registradas por las estaciones meteorológicas correspondientes a la estación del año “primavera” (21-Mar-15 al 20-Jun-15). Para el mes de Abril le corresponde la velocidad de viento mínima equivalente a 9.7 m/s y para el mes de Marzo del 2015 la velocidad máxima es de: 15.3 m/s. La velocidad del viento mínima es 0. (fig. 80)

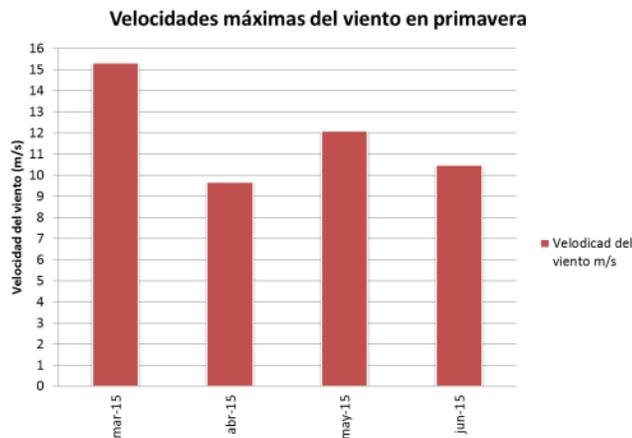


Figura 80. Gráfica con las velocidades máximas del viento durante primavera

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La siguiente gráfica nos muestra la velocidad del viento promedio durante el invierno. Registrándose para el mes de Junio del 2015 la velocidad del viento promedio más baja de todo el periodo de medición, esta velocidad equivale a 1.7 m/s, para el mes de Marzo del 2015 la velocidad del viento se mantiene por encima de los 2.8 m/s. (fig. 81)

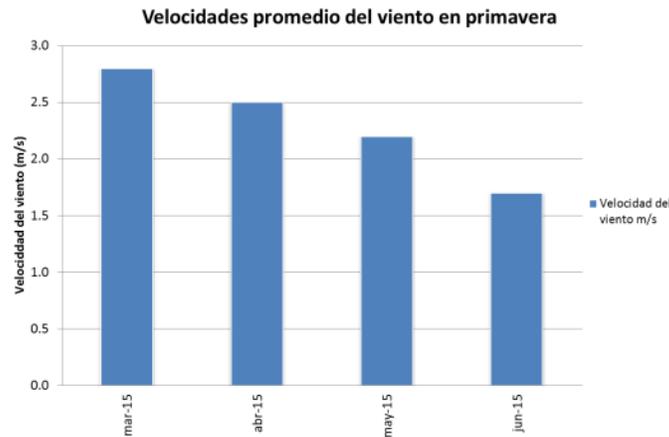


Figura 81. Gráfica con las velocidades promedio del viento durante primavera

Verano

En la siguiente gráfica se puede apreciar que las mayores velocidades del viento se alcanzaron en los meses:

- En el mes de Agosto del 2015 se registró una velocidad del viento de 3.5 y 3.9 m/s.

Se puede observar que el rango de las velocidades predominantes va de 1 m/s a 3 m/s en la Ciudad de México. (fig. 82)

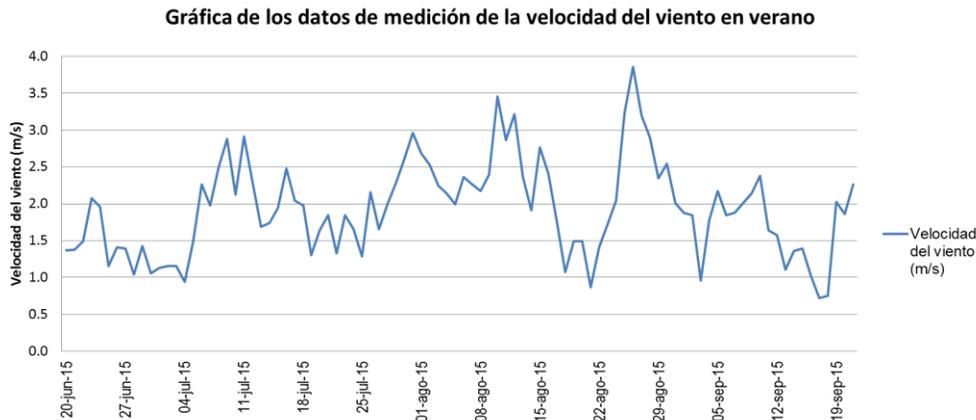


Figura 82. Gráfica con la velocidad del viento durante verano

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

En la siguiente gráfica podemos ver las velocidades máximas del viento (datos de medición) registradas por las estaciones meteorológicas correspondientes a la estación del año “primavera” (21-Jun-15 al 20-Sept-15). Para el mes de Septiembre le corresponde la velocidad de viento mínima equivalente a 9.7 m/s y para el mes de Agosto del 2015 la velocidad máxima es de: 11.3 m/s. La velocidad mínima del viento es 0. (fig. 83)



Figura 83. Gráfica con las velocidades máximas del viento durante verano

La siguiente gráfica nos muestra la velocidad del viento promedio durante el invierno. Registrándose para los meses de Junio y Septiembre del 2015 la velocidad del viento promedio más baja de todo el periodo de medición, esta velocidad equivale a 1.7 m/s, para el mes de Agosto del 2015 la velocidad del viento se mantiene por encima de los 2.3 m/s. (fig. 84)



Figura 84. Gráfica con las velocidades promedio del viento durante verano

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Otoño

En la siguiente gráfica se puede apreciar que las mayores velocidades del viento se alcanzaron en los meses:

- a) En el mes de Octubre del 2015 se registró una velocidad del viento de 3.9 m/s.

Se puede observar que el rango de las velocidades predominantes va de 0.5 m/s a 3.5 m/s en la Ciudad de México. (fig. 85)

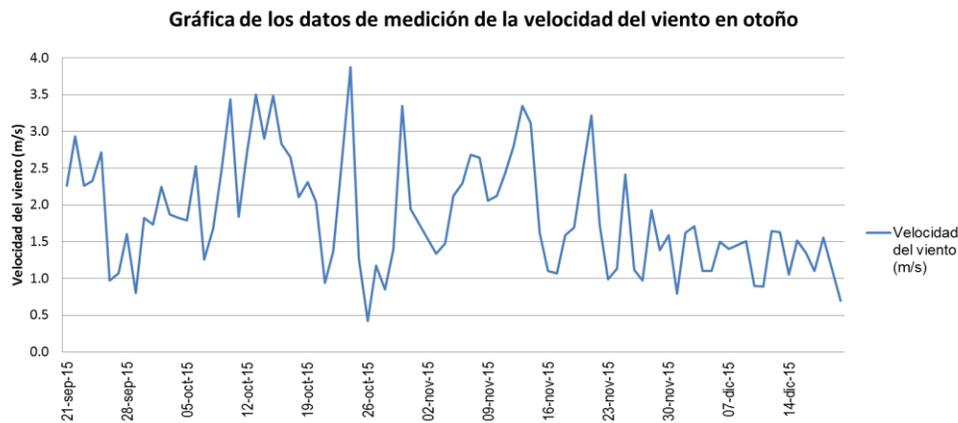


Figura 85. Gráfica con la velocidad del viento durante otoño

En la siguiente gráfica podemos ver las velocidades máximas del viento (datos de medición) registradas por las estaciones meteorológicas correspondientes a la estación del año “primavera” (21-Sept-15 al 20-Dic-15). Para el mes de Diciembre le corresponde la velocidad de viento mínima equivalente a 7.1 m/s y para el mes de Septiembre del 2015 la velocidad máxima es de: 9.7 m/s. La velocidad mínima del viento es 0. (fig. 86)



Figura 86. Gráfica con las velocidades máximas del viento durante otoño

La siguiente gráfica nos muestra la velocidad del viento promedio durante el invierno. Registrándose para el mes de Diciembre del 2015 la velocidad del viento promedio más baja de todo el periodo de medición, esta velocidad equivale a 1.3 m/s, para el mes de Octubre del 2015 la velocidad del viento se mantiene por encima de los 2.1 m/s. (fig. 87)



Figura 87. Gráfica con las velocidades promedio del viento durante otoño

Tercera etapa: cálculo del consumo total de los auditorios para poder proponer los equipos que se van a instalar en el edificio.

Diagnostico energético de los auditorios de la Unidad de Posgrado

Lo primero que tuve que hacer fue dirigir un oficio a la Coordinación de la Unidad de Posgrado para solicitar el acceso a los auditorios para realizar un levantamiento, tanto arquitectónico como de la instalación eléctrica, para comparar lo que se tiene proyectado en los planos con lo que existe físicamente. Después de entregar cuatro oficios me autorizaron el acceso a los auditorios.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Para realizar el diagnóstico energético tuve que hacer un registro del número de luminarias y contactos que están instalados en el vestíbulo principal, en las cabinas de control y en los auditorios. También tuve que anotar las características de cada uno de estos elementos (tipo de lámpara, consumo, tipo de luz, etc). Además tuve que registrar todos los equipos electrónicos que se encuentran en estas áreas, ya que también consumen electricidad. En el Anexo C pueden ver las fotografías de los auditorios y de algunos de los equipos electrónicos que están en uso.

A continuación se muestran los cálculos de consumo de electricidad por parte de la iluminación y de los equipos (misceláneos) que están conectados a los contactos.

				INSTALADO		FACTOR BALASTRO		INSTALADO		FACTOR BALASTRO	
				150	W	1		42	W	1	
				Mod. CO8035G				Mod. CO1173B			
NIVEL	USO	IDENTIFICADOR DEL LOCAL	HORAS / DIA	150W (INSTALADO)				FLUORESCENTE COMPACTA 2 X 42 W (INSTALADO)			
				NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)
				150				84			
PB	PUBLICO	VESTIBULO PRINCIPAL	7.0 7.0	12	150	1800	1.8				
	PUBLICO	PASILLO Y VESTIBULOS AUDITORIOS	7.0								
	PUBLICO	AUDITORIO 1	7.0 7.0					75	84	6300	6.3
	PRIVADO	CABINA DE CONTROL	7.0 7.0								
	PUBLICO	AUDITORIO 2	7.0 7.0					75	84	6300	6.3
	PRIVADO	CABINA DE CONTROL	7.0 7.0								
	PRIVADO	CUARTO DE ASEO Y CUARTO DE TABLEROS	5.0 2.0								
	PUBLICO	BAÑOS MUJERES Y HOMBRES	5.0								

I L U M I N A C I O N																	
				INSTALADO		FACTOR BALASTRO		INSTALADO		FACTOR BALASTRO							
				26	W	1		32	W	1							
				Mod. CO1021B				Mod. OF4038B									
/)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	FLUORESCENTE COMPACTA 26 W (INSTALADO)				FLUORESCENTE LINEAL 2 X 32 W T5 (INSTALADO)				FLUORESCENTE COMPACTA 13 W (INSTALADO)				
					NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	
		26															
	17	26	442	0.442													
					1	64	64	0.064									
					1	64	64	0.064									
					3	64	192	0.192									
												10	13	130	0.13		

Arq. Ivan R. Valdivia Ortega 2016

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

297 W				26.4 W				180 W				
VIDEOPROYECTOR (SONY)				CAMARA DE VIDEO (SONY) 12 V				CONTACTO 12V				
V)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	F. EN (K)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)
		297				26.4				180		
									6	180	1080	1.08
	2	297	594	0.594	3	26.4	79.2	0.08	9	180	1620	1.62
									2	180	360	0.36
	2	297	594	0.594	3	26.4	79.2	0.08	9	180	1620	1.62
									2	180	360	0.36
									2	180	360	0.36

					TOTALES ILUMINACIÓN				
500 W									
CONTACTO (DUPLEX) 12V					KW	HR / día	Factor de Coincidencia (F.C.)	CONSUMO DIA (KWh/DIA)	CONSUMO MES (KWh/MES)
W)	NUMERO	INSTALADO	TOT. EN (W)	TOT. EN (KW)	INSTALADOS				
		500							
	4	500	2000	2.00	1.800	7.0	0.9	11.3400	204.1200
					3.080	7.0	0.2	4.3120	77.6160
					0.442	7.0	0.9	2.7846	50.1228
	8	500	4000	4	6.973	7.0	0.8	39.0499	702.8986
					5.620	7.0	0.5	19.6700	354.0600
					0.064	7.0	0.9	0.4032	7.2576
	3	500	1500	1.5	1.860	7.0	0.9	11.7180	210.9240
					6.973	7.0	0.8	39.0499	702.8986
	8	500	4000	4	5.620	7.0	0.5	19.6700	354.0600
					0.064	7.0	0.9	0.4032	7.2576
	3	500	1500	1.5	1.860	7.0	0.9	11.7180	210.9240
					0.192	5.0	0.6	0.5760	10.3680
					0.360	2.0	0.2	0.1440	2.5920
					0.130	5.0	0.8	0.5200	9.3600

NIVEL	LOCAL	MISCELANEO	NO. ELEMENTOS	WATTS	DEMANDA MÁXIMA	HORAS AL DÍA	Wh / día	Kwh / día	Kwh / mes
PB	CABINA DEL AUDITORIO	COMPUTADORAS	2	300.00	*	7.00	4,200.00	4.20	105.00
PB	CABINA DEL AUDITORIO	MONITOR DE COMPUTADORA	1	350.00	*	7.00	2,450.00	2.45	61.25
PB	CABINA DEL AUDITORIO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA	1	150.00	*	7.00	1,050.00	1.05	26.25
PB	CABINA DEL AUDITORIO	TRANSMISOR DEL MICROFONO	2	5.00	*	7.00	70.00	0.07	1.75
PB	CABINA DEL AUDITORIO	REGULADOR DE VOLTAJE	1	13.00	*	7.00	91.00	0.09	2.28
PB	CABINA DEL AUDITORIO	SIERRAVIDEO QUAD-MV MULTI VIEWER	1	170.00	*	7.00	1,190.00	1.19	29.75
PB	CABINA DEL AUDITORIO	NEXIA VC	1	65.00	*	7.00	455.00	0.46	11.38
PB	CABINA DEL AUDITORIO	CRESTRON AV2 (PROCESADOR DE AUDIO Y VIDEO)	1	50.00	*	7.00	350.00	0.35	8.75
PB	CABINA DEL AUDITORIO	INTER M. AMPLIFICADOR R500 PLUS	1	250.00	*	7.00	1,750.00	1.75	43.75
PB	CABINA DEL AUDITORIO	BLUE RAY	1	25.00	*	7.00	175.00	0.18	4.38
PB	CABINA DEL AUDITORIO	EATON 5PX 2200 (UPS)	1	1980.00	*	0.50	990.00	0.99	24.75
PB	CABINA DEL AUDITORIO	HP J9146A	1	65.00	*	7.00	455.00	0.46	11.38
PB	BAÑO HOMBRES	SECADOR DE MANOS	1	2400.00	*	1.00	2,400.00	2.40	60.00
PB	BAÑO HOMBRES	EXTRACTOR DE AIRE	1	110.00	*	5.00	550.00	0.55	13.75
PB	BAÑO MUJERES	SECADOR DE MANOS	1	2400.00	*	1.00	2,400.00	2.40	60.00
PB	BAÑO MUJERES	EXTRACTOR DE AIRE	1	110.00	*	5.00	550.00	0.55	13.75
				8,443.00			19,126.00	19.13	478.15
				Watts			wh / día	Kwh / día	Kwh / mes

Arq. Ivan R. Valdivia Ortega 2016

CAPÍTULO 8

Caso estudio:

**Auditorios de la Unidad
de Posgrado, UNAM**



8. Caso estudio: Auditorios de la Unidad de Posgrado, UNAM

El edificio de la Unidad de Posgrado se encuentra localizado al sur de Ciudad Universitaria y limitado por la Av. de los Insurgentes y la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, cerca del Centro Cultural Universitario y a espaldas del Posgrado de Economía. (fig. 88)



Figura 88. Vista aérea de la Unidad de Posgrado

La Unidad de Posgrado está conformada por once cuerpos. Los cinco cuerpos exteriores están destinados a actividades académicas, los cinco cuerpos interiores albergan las actividades académico-administrativas y el último cuerpo (caso estudio) cuenta con los servicios de apoyo académico.

En este edificio se encuentran los auditorios, los cuales son el caso de estudio de este documento de investigación. (fig. 89)



Figura 89. Vista del edificio K de la Unidad de Posgrado.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Los planos arquitectónicos del edificio se pueden consultar en el Anexo B.

Es importante señalar que lo que se persigue en esta investigación es cubrir el consumo de electricidad sólo de la iluminación del edificio (áreas comunes y las dos salas de los auditorios) con la propuesta de los equipos. Después de haber realizado los cálculos de la iluminación y de los equipos electrónicos que están conectados en el vestíbulo principal, los dos auditorios y las cabinas de control para saber cuál es el consumo total de energía eléctrica, estos son los resultados:

Local	Consumo por día (Kwh/día)
Auditorio (iluminación)	94.10
Misceláneos (equipos electrónicos)	19.13
Total	113.23

Otra manera de analizar a un inmueble para saber qué tan eficiente es en términos energéticos es con la ayuda de la siguiente Norma Oficial Mexicana:

- NOM-007-ENER-2014. Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. La cual tiene por objetivo:
 - a) Establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.
 - b) Establecer el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios nuevos no residenciales, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes con el fin de verificar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La fórmula para realizar el análisis es la siguiente:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Area total iluminada}}$$

Es importante mencionar que para fines de esta investigación sólo se realizaron los cálculos, para saber el nivel de eficiencia del alumbrado del edificio con el objetivo de conocer si éste cumple, del método que señala la norma. Para poder realizar de manera adecuada el análisis del inmueble con respecto a la norma NOM-007-ENER-2014 cada una de las áreas se dividieron con respecto a su función, como vienen señaladas en las tablas que están incluidas en dicha norma. A continuación se muestran los cálculos.

4. VESTIBULO					
TIPO DE LUMINARIA	LUMINARIA	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (WU)	POTENCIA TOTAL (WT)	M2
fluorescente	1 x 150 W	12.00	150.00	1,800.00	231.78
fluorescente compacta	1 x 26 W	11.00	26.00	286.00	
subtotal=				2,086.00	
				NOM-007-ENER-2014	
DPEA=	2,086.00			21.53	(Vestibulo teatro)
	231.78	9.00 W/m2			

El resultado (9 W/m2) cumple con la norma mexicana, ya que el valor no es mayor al establecido para el área de vestíbulo teatro (21.53 W/m2).

2. SALA AUDITORIO					
TIPO DE LUMINARIA	LUMINARIA	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (WU)	POTENCIA TOTAL (WT)	M2
fluorescente compacta	2 x 42 W	75.00	84.00	6,300.00	216.06
subtotal=				6,300.00	
				NOM-007-ENER-2014	
DPEA=	6,300.00			15	(centro de convenciones)
	216.0600	29.16 W/m2			

El resultado (29.16 W/m2) no cumple con la norma mexicana, ya que el valor es mayor al establecido para el área de centro de convenciones (15 W/m2).

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA-

3. CABINA DE CONTROL					
TIPO DE LUMINARIA	LUMINARIA	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (WU)	POTENCIA TOTAL (WT)	M2
flourescente	2 x 32 W	1.00	64.00	64.00	14.44
subtotal=				64.00	
DPEA=		64.00		NOM-007-ENER-2014	
		14.44	4.43 W/m2	(No está considerado)	

No se puede decir si el resultado (4.43 W/m2) cumple con la norma mexicana, debido a que no se tiene considerada esta área.

1. SERVICIOS (BAÑOS, CUARTO DE ASEO Y TABLEROS)					
TIPO DE LUMINARIA	LUMINARIA	CANTIDAD	POTENCIA UNITARIA (WU)	POTENCIA TOTAL (WT)	M2
flourescente (T5)	2 x 32 W	3.00	64.00	192.00	61.20
flourescente compacta	13 W	10.00	130.00	1,300.00	
flourescente compacta	26 W	4.00	26.00	104.00	
subtotal=				1,492.00	
DPEA=		1,492.00		NOM-007-ENER-2014	
		61.20	5.49 W/m2	10.55	(Sanitarios)

El resultado (5.49 W/m2) cumple, ya que el valor no es mayor al establecido en la norma mexicana para el área de sanitarios (10.53 W/m2).

Tabla resumen de factibilidad

Clave	Concepto	Auditorio	Equipos (Aerogenerador y panel solar)	
1	Consumo total de electricidad de iluminación y equipos. (kwh/día)	113.23		
2	Generación de electricidad (kwh/día)		95	
3	Consumo neto de electricidad (kwh/día)			18.23

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Tabla resumen de análisis financiero

Se está considerando el cargo de kWh de \$ 1.1081, debido a que el horario que comprende la “hora de energía intermedia” es de: 6:00 a.m a 8:00 p.m. (CFE, 2016)

Tarifa H-M (2015 - 2016)

2.- Cuotas aplicables en el mes de de 2016.

REGIÓN	CARGO POR KILOWATT DE DEMANDA FACTURABLE	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE PUNTA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA INTERMEDIA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE BASE
Central	\$ 212.38	\$ 2.2105	\$ 1.1081	\$ 0.9263

Clave	Concepto	Costo (M.N.)	Años
1	Inversión inicial en equipos	\$ 1,929,938.40	
2	Amortización de electricidad (kwh/día)	\$ - 105.27	
3	Amortización de electricidad por día kWh/día (7 horas al día)	\$ - 526.35	
4	Costo kwh/día Tarifa HM. Media tensión hora punta. (Dic 16)	\$ 1.1081	
5	Amortización de electricidad al año (se consideran 300 días)	\$ - 157,905	
6	Tiempo de retorno de la inversión		13

Propuesta de los equipos finales

Para la selección de los equipos se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- Velocidad del viento (m/s) existente en la Ciudad de México
- Consumo total de energía eléctrica de los auditorios

Tomando en cuenta los datos antes mencionados se procedió a la selección de los equipos, los cuales estarán generando la energía eléctrica para cubrir el consumo de electricidad de los auditorios.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Los datos de los equipos son:

- a) Proveedor: Alcione
- b) Marca: Enair
- c) Modelo: E 70 pro (5 kW)

Para que cada uno de los equipos se pueda instalar y funcione correctamente es necesario adquirir lo siguiente:

- a) Interruptor de frenado en 24 vdc y puntera
- b) Torre basculante de 11.7 m.
- c) Bateria Trojan Mod.- L-16PAC 6 vdc y 420 ah
- d) Cable para baterías 2/0 x 7" con terminales y para Inversor 2/0 x 60" con terminales
- e) Gabinete MidNite Mod.- MNE250AL-Plus 250 amp, 120 vac
- f) Inversor OutBack Mod.- GVFX3524 ventilado, 24 vdc de entrada, 120 vac de salida con 3500 watts.

El número de miniaerogeneradores que se proponen son: 4 aerogeneradores. En los Anexos D y E se pueden consultar la cotización y ficha técnica del equipo.

En las siguientes imágenes se muestra el esquema de funcionamiento del modelo operativo (miniaerogenerador) para suministrar de energía eléctrica al edificio K de la Unidad de Posgrado (auditorios) y la interconexión a la red eléctrica. (fig. 90, 91 y 92)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

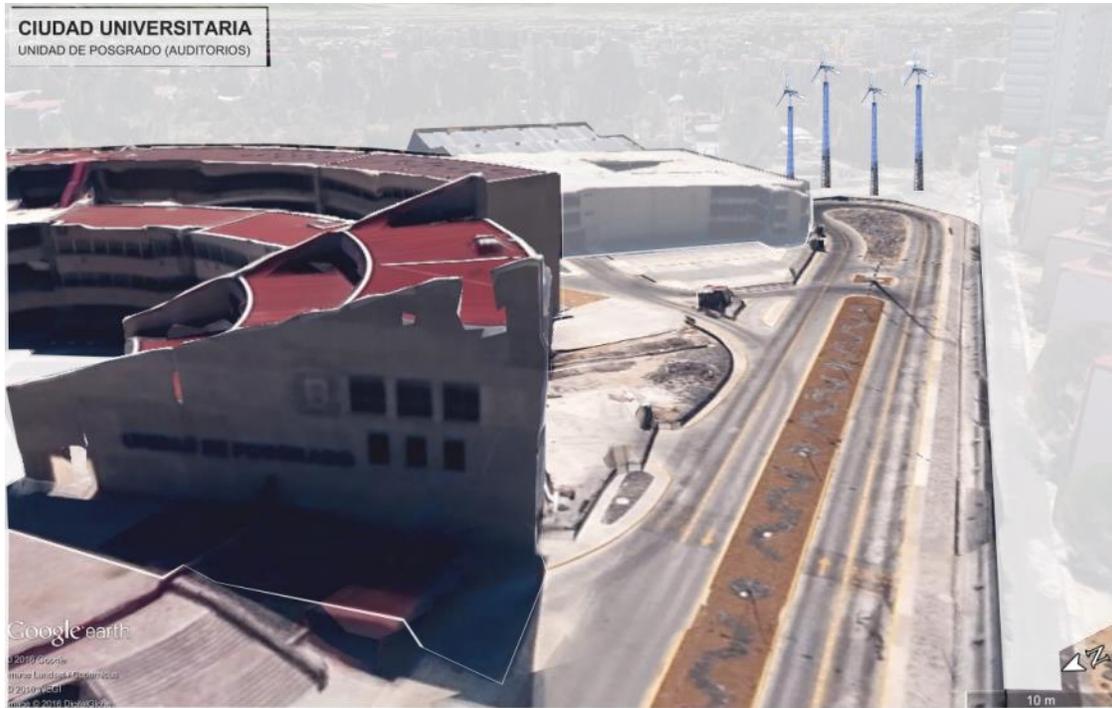


Figura 90. Esquema de funcionamiento del modelo operativo



Figura 91. Esquema de funcionamiento del modelo operativo

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

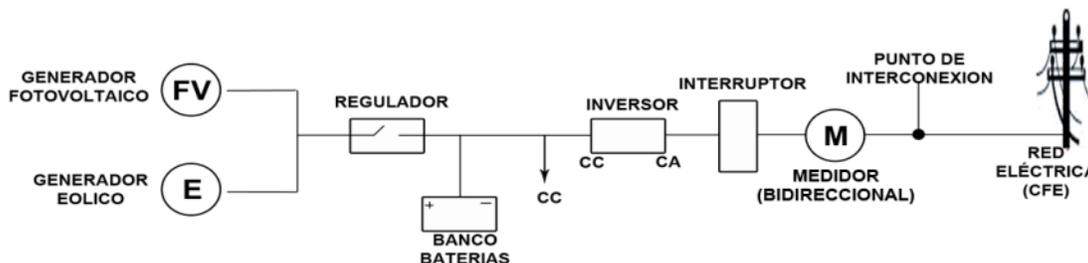


Figura 92. Circuito de interconexión del sistema híbrido a la red eléctrica

En la siguiente gráfica se muestra una comparativa entre el consumo de electricidad por parte de la iluminación de las áreas comunes y las dos salas de los auditorios contra la generación de energía eléctrica producida por los equipos propuestos. Estos datos corresponden a los días que se llevaron a cabo los eventos. (fig. 93)

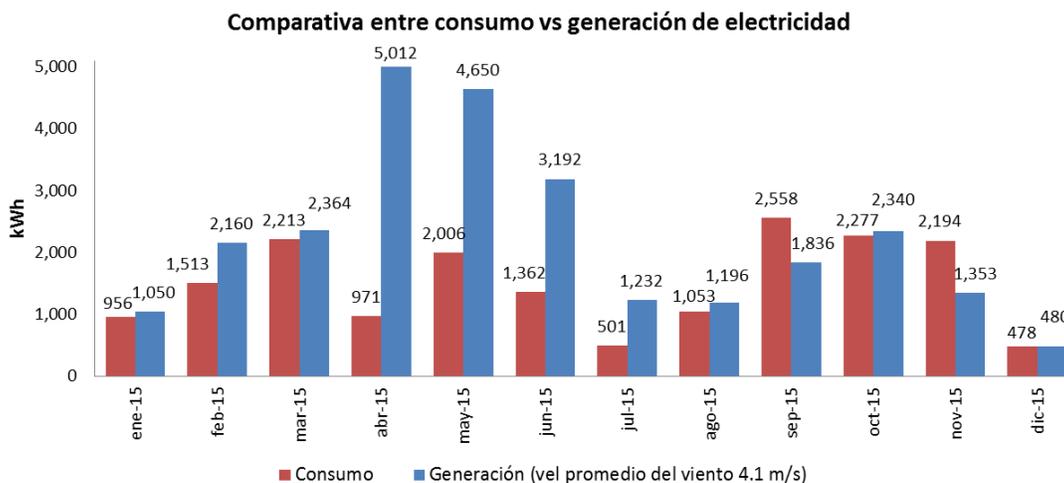


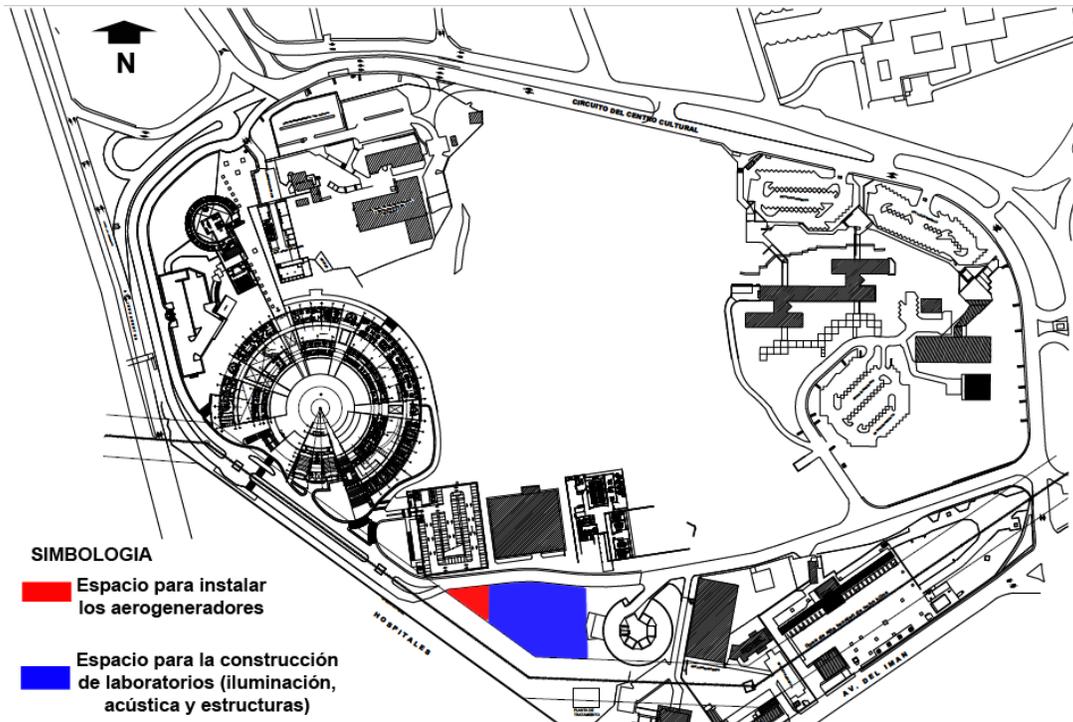
Figura 93. Gráfica con la comparativa entre consumo vs generación de electricidad por mes

Si revisamos la gráfica podemos ver que en 10 meses del año 2015 se generó energía eléctrica de manera excedente, es decir, se produjo más electricidad de la que se consumió. Esto se debe a que a lo largo de los días se contó con velocidades del viento superiores a 5 m/s. Esta energía eléctrica excedente se almacena en el banco de baterías para ser suministrada a los auditorios durante los eventos cuando no se esté generando electricidad y el resto de la energía eléctrica se inyectará a la red eléctrica.

En el anexo G se pueden consultar a detalles los cálculos por mes, día y hora correspondientes a los datos que se mencionan en la tabla anterior.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

En el siguiente plano se muestra la ubicación de la zona para la instalación de los aerogeneradores. También se señala el área que estoy proponiendo para la construcción de los laboratorios de: Iluminación, Acústica y Estructuras, que considero son necesarios para apoyar las futuras investigaciones de los alumnos.



Plano con la ubicación de los aerogeneradores y futuros laboratorios.

CAPÍTULO 9

PANORAMA A FUTURO



9. Panorama mundial y nacional a futuro

Panorama mundial estimado para los años 2020, 2030 y 2050

Se estima para el año 2020 la capacidad global de generación con la energía eólica podría alcanzar 1.5 millones de MW. En función del crecimiento de la demanda podría llegar a cubrir entre el 11.50% y el 12.70% del consumo mundial de electricidad en 2020 y alcanzar entre el 20.20% y 24.90%, una cuarta parte de las necesidades de electricidad a nivel mundial, en 2030. (Fried, Global Wind Energy Outlook 2014, 2014) (fig. 94)

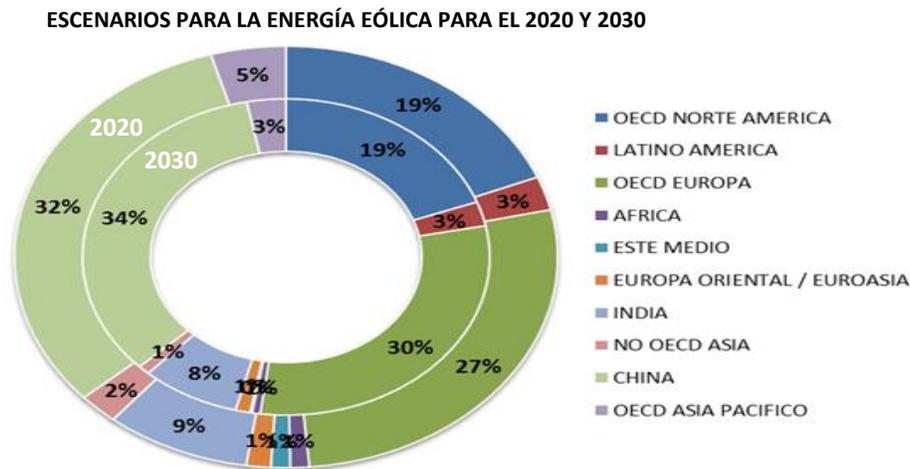


Figura 94. Grafica con la generación de energía eléctrica estimada para el 2020 y 2030.

Fuente: Global Wind Energy Outlook 2014

Es realmente posible que el mundo sea impulsado por las energías renovables al 100%?

El Dr. Sven Teske, argumenta predicciones de corriente para el papel de las energías renovables en la industria energética sufren de un conservadurismo innato que no tiene en cuenta los rápidos avances tecnológicos y el crecimiento del mercado de la industria de la tecnología limpia ha entregado. "Las predicciones de la Asociación Internacional de Energía suponen que el sector crecerá en los próximos 10 años la cantidad que creció en el último año", le dice Business Green. "Ellos predijeron que en el año 2006 para la industria

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

eólica y luego lo que ocurrió fue que el mercado creció a tasas de dos dígitos de crecimiento para la próxima década."

Teske reconoce que la industria de las energías renovables no seguirá creciendo indefinidamente, pero el informe sostiene una combinación de las fuerzas del mercado y las políticas progresistas significan que existe un enorme espacio para la expansión continuada. "Las tecnologías de energías renovables se han convertido en algo corriente en la mayoría de los países como consecuencia de la caída de los precios de manera espectacular", sostiene el informe. "Un suministro mundial de energía renovable ya no es ciencia ficción, pero el trabajo en curso. Renovables puso el 60 por ciento de la nueva generación de energía en todo el mundo en 2014, y en algunos países, la proporción fue mayor. Las tres tecnologías principales de generación de energía (energía solar fotovoltaica, eólica y la hidráulica) junto añadido 127GW de nueva capacidad de generación de energía en todo el mundo en el año 2014. Todo esto ha ocurrido en un entorno donde los subsidios se ponderan fuertemente a favor de los combustibles fósiles, que reciben una subvención anual global de \$ 550 billones, más del doble del subvenciones para las energías renovables".

El informe predice la aceleración continua de estas tendencias permitiría a las energías renovables para satisfacer el 42% de la demanda global de energía en 2030, el 72% en 2040 y el 100% en 2050, a través de las continuas mejoras de eficiencia energética y las energías renovables y el transporte electrificado convirtiéndose en la tecnología de forma predeterminada elección tanto en las economías industrializadas y en desarrollo.

Teske argumenta que muchos de estos cambios serán impulsados por las fuerzas del mercado simples. "En los países industrializados la suite de la planta de energía es viejo y va a necesitar reemplazo independientemente", argumenta. "Si se compara con la nueva construcción de obra nueva, es cada vez más claro el viento y la energía solar son más baratas que el carbón, incluso antes de dar cuenta de los costos ambientales de carbón".

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

La situación es diferente para los países en desarrollo, que todavía requieren un enorme aumento de la capacidad de energía para impulsar el desarrollo. Pero, de nuevo Teske sostiene las energías renovables ofrecen algunas ventajas inherentes. "Se puede añadir capacidad a través de las energías renovables más barato y más rápido de lo que puede grandes plantas de combustibles fósiles", argumenta. "Y debido a que las tecnologías son modulares y rápido de implementar se puede evitar el problema de Europa tuvo en los años 1970 y China está teniendo ahora en el que construir el exceso de capacidad."

Es una visión optimista que Greenpeace sería el primero en aceptar enfrenta a una serie de barreras significativas. En primer lugar, están los desafíos técnicos que deben superarse si vamos a entregar un sistema de energía renovable al 100%, desafíos que son particularmente graves para la aviación y la industria. Luego están los desafíos políticos y de política asociados con la inevitable decadencia de las industrias contaminantes de combustibles fósiles. Y por último está la realidad de enormes proporciones que se eleva el consumo energético mundial significa proporción de la producción mundial de las energías renovables ', hasta la fecha, sólo se avanzó hacia arriba. (fig. 95) (Is a 100 per cent renewables-powered world really possible?)

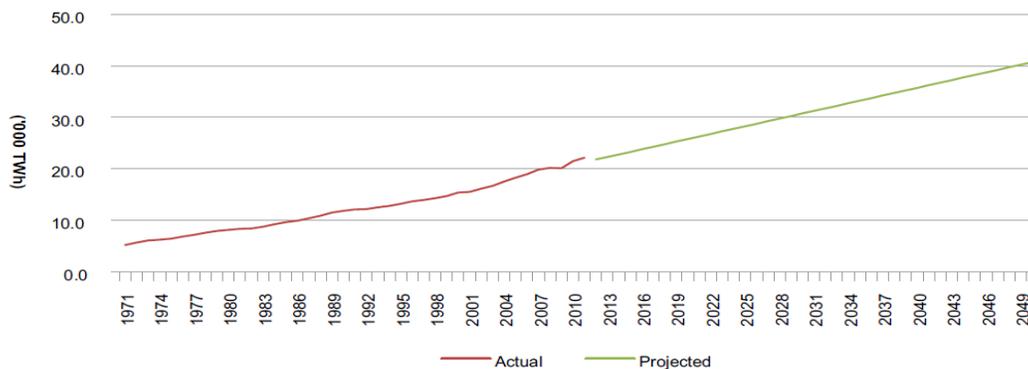


Figura 95. Gráfica con la proyección de generación de energía eléctrica con energías renovables al 2050.

Fuente: Wind Energy 2050.

Además del Dr. Sven Teske (Greenpeace) existen otras dos compañías especializadas en el estudio del viento que también han creado sus escenarios para la generación de energía eléctrica con la ayuda de las energías renovables para el año 2050. (fig. 96) Estas dos compañías son:

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA-**

- a) Consejo Mundial de la Energía b) Agencia Internacional de Energía.
Eólica y

a) Consejo Mundial de la Energía Eólica: plantea los siguientes escenarios:

Jazz	Symphony
As an energy scenario, Jazz has a focus on energy equity with priority given to achieving individual access and affordability of energy through economic growth.	As an energy scenario, Symphony has a focus on achieving environmental sustainability through internationally coordinated policies and practices.
Total Electricity Production	
53.6 thousand TWh	47.9 thousand TWh
Share of Renewable Electricity	
46%	70%
Generation from wind	
4.51 thousand TWh	4 thousand TWh

Figura 96. Escenarios planteados por el Consejo Mundial de la Energía Eólica para el año 2050.

Fuente: Wind Energy 2050.

Jazz	Sinfonía
Como un escenario de energía, Jazz tiene un enfoque de equidad de la energía, dando prioridad al alcance individual y accesibilidad de la energía a través del crecimiento económico.	Como un escenario de energía, Sinfonía tiene un enfoque en el logro de la sustentabilidad ambiental a través de políticas y prácticas coordinadas a nivel internacional

b) Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), en su perspectiva para el año 2050, sus dos escenarios “2DS y HIREN”, la producción total de electricidad esta en el rango de los 42 – 40 mil TWh de energía que comprende las energías renovables: solar, eólica (tierra y mar) y mareomotriz contribuyendo del 22% al 32% de la generación de la electricidad. Indicando lo siguiente:

- Escenario 2DS: 14% del total para la energía eólica (5.9 mil TWh) y
- Escenario HIREN: 18% del total para la energía eólica (7.6 mil TWh). (Hossain, 2015)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Panorama nacional estimado para el año 2029

En 2014, la generación de energía eléctrica era de 301,462.0 GWh y se espera que, para el año 2029, se incremente 56.1%, para ubicarse en 470,431.7 GWh. En la siguiente gráfica se observa una disminución en la participación de tecnologías térmico convencional, de 12.4% a 0.5%. , y las carboeléctricas, disminuirán en 10.9 puntos porcentuales, y contribuirán únicamente con 0.3% de la generación. Por otra parte, las tecnologías con energías limpias en conjunto se posicionan a la alza con un incremento de 20.4% en 2014, a 42.6% en 2029. Sólo la hidroeléctrica presenta una disminución en su participación de 1.3 puntos porcentuales, derivado en gran medida por la madurez de esta tecnología en cuanto al aprovechamiento del recurso hídrico disponible para su utilización en la generación de electricidad. (fig. 97)

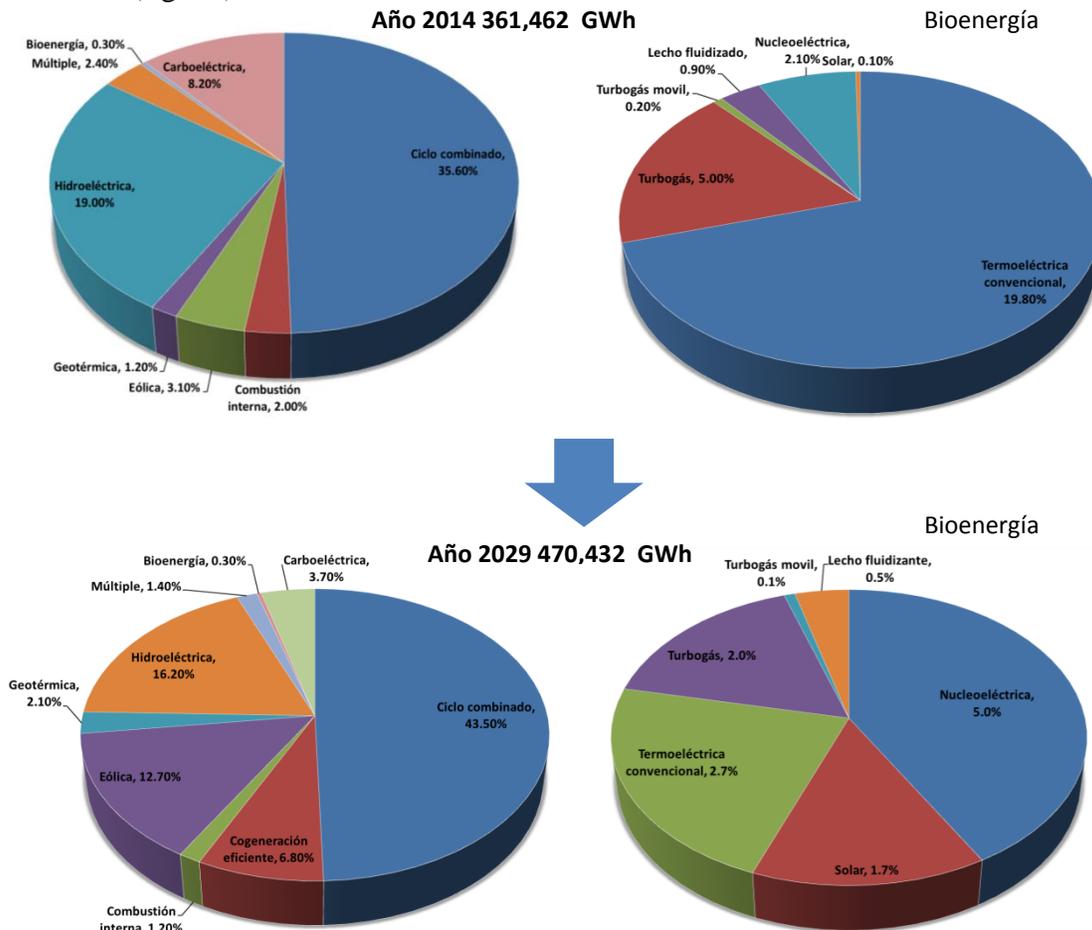


Figura 97. Proyección de la producción de electricidad con energías renovables al 2029. Imagen propia con datos de Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Para el 2018 se estima contar con un total de 9,500 MW de capacidad instalada en México, lo que representará 8% de la generación nacional. Dicha capacidad permitiría también reducir hasta en un 17% las importaciones diarias de gas natural hacia el 2020 sin afectar los márgenes de reserva del Servicio de Electricidad Nacional, capturar entre el 8% y el 15% de las emisiones evitadas de CO₂ estimadas para el mismo periodo y generar hasta 48,000 empleos directos e indirectos en los sectores involucrados de la industria nacional. (Prospectiva del sector eléctrico: 2013-2027, 2013)

En el siguiente mapa se muestra la estimación de generación de energía eléctrica por medio de la energía eólica para el año 2022. (fig. 98)

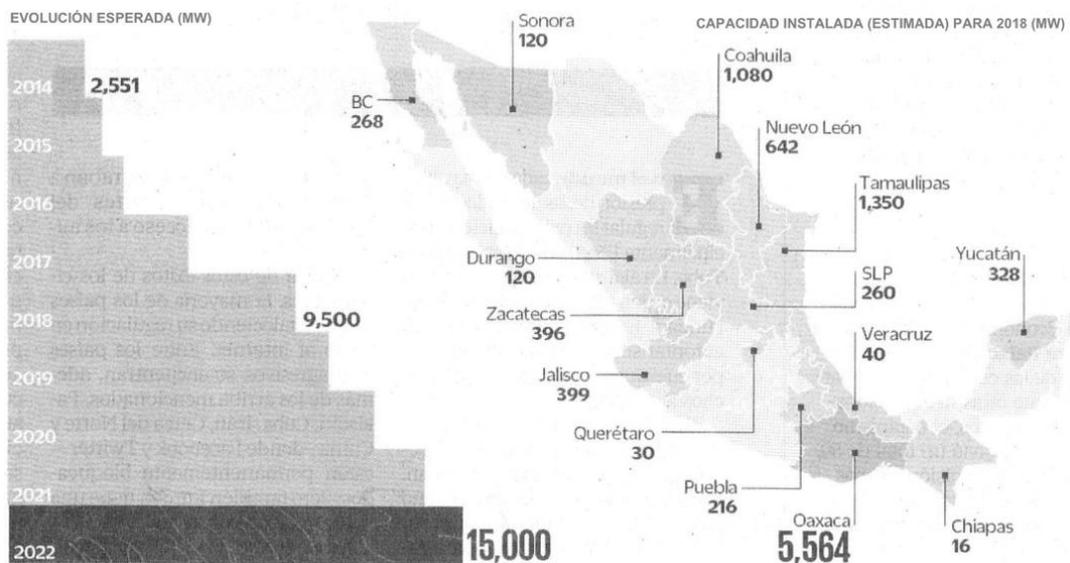


Figura 98. Mapa de México con la energía eólica estimada para el 2018.

Fuente: El Universal.

El gobierno mexicano tiene la meta de llegar a 35% de generación de electricidad mediante energías renovables (limpias) al 2025 para lograr esto se requieren más de 50,000 MW y utilizar tan sólo alrededor de 17,000 MW para alcanzar el objetivo. (Prospectivas de Energías Renovables 2012-2026, 2012)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de la capacidad instalada para el año 2022. (fig. 99)

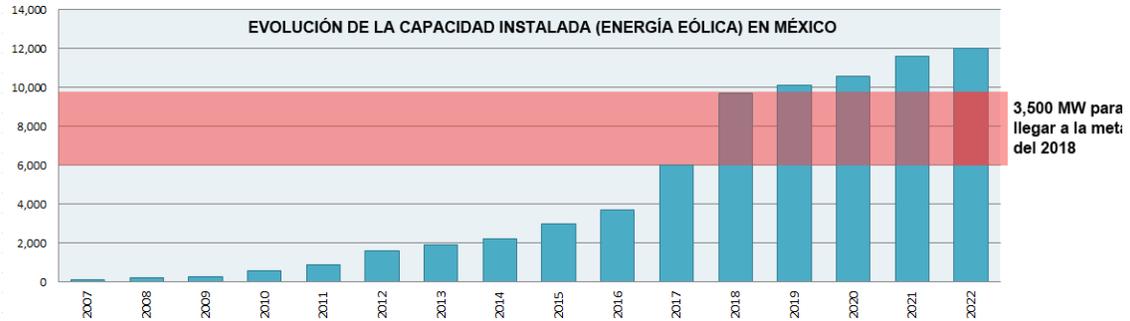


Figura 99. Evolución de la capacidad instalada.

Imagen propia con datos de Asociación Mexicana de la Energía Eólica.

10. Conclusiones

En México, desafortunadamente la energía eólica en pequeña escala (generación distribuida) no ha tenido el mismo impulso en el país como lo ha tenido la energía eólica a gran escala. Esto se puede deber a las siguientes razones:

1. Falta de conocimiento de esta tecnología por parte de las empresas y la población
2. El elevado costo de la implementación de esta energía
3. La no existencia de los productos en el mercado nacional.

Por la inquietud sobre la situación de la energía eólica la pequeña escala en México surgió mi tema de investigación. Durante un proceso de investigación realice un experimento para saber cuál es la condición del viento en la Ciudad de México. Después de analizar y procesar los datos de medición (correspondientes al periodo de tiempo: Enero del 2015 a Abril del 2016) registrados por las estaciones meteorológicas podemos concluir que la correlación entre las variables es muy baja, ya que el valor de correlación de la variable dependiente: velocidad del viento con respecto a cada una de las variables independientes es menor a 0.2 y en ocasiones el valor es negativo. Sin embargo la correlación entre las variables: temperatura y velocidad del viento en la estación del año “primavera” se puede decir que es estrecha debido a que el valor de correlación es cerca del 0.5. Esto quiere decir que en este periodo de tiempo la temperatura provoca el movimiento de masas de aire de un lugar a otro (viento). Si analizamos la gráfica con los datos de medición de la velocidad del viento de todo el periodo de tiempo podemos concluir que los meses que cuentan con mayor velocidad del viento son: Febrero, Marzo del 2015 y Marzo del 2016. En la gráfica de las velocidades máximas de viento podemos ver que los meses de Marzo del 2015 del 2016 cuentan con las velocidades máximas, superiores a los 12 m/s. Por último en la gráfica con la velocidad (promedio) del viento podemos observar que en los meses de Marzo, Abril y Agosto se registró el valor más alto, equivalente a 2.3, 2.5 y 2.8 m/s. Por lo que podemos concluir que los meses que cuentan con mayor velocidad del viento durante el año son: Febrero, Maro y Abril. Esto nos puede servir para saber en qué meses los equipos van a generar más energía eléctrica y con esto tendremos una disminución en el consumo de electricidad. También podemos concluir que a lo largo de las estaciones del año:

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Invierno, Verano y Otoño se registraron de manera constante una velocidad de viento superior a los 3 m/s. Durante la Primavera se tiene la correlación más estrecha entre la temperatura y la velocidad del viento con un valor de: 0.48. Con respecto a la información contenida en las rosas de viento podemos concluir que las orientaciones con la mayor frecuencia son: suroeste y noroeste. Y la orientación que registró la mayor velocidad promedio del viento es: nor-noroeste. Considero importante mencionar que la Ciudad de México cuenta con las velocidades de viento para que un mini-aerogenerador funcione correctamente y pueda producir energía eléctrica, pero estas velocidades de viento no se mantienen constantes. Tomando en cuenta esto, se decidió combinar los mini aerogeneradores con celdas fotovoltaicas para que la generación de energía eléctrica se tenga en todo momento.

Para finalizar a continuación menciono algunos puntos que considero importantes para que la generación distribuida tenga mayor impulso en el país y al mismo reducir los costos de producción y venta de los equipos para la generación de energía eléctrica con la ayuda de las energías renovables:

- La solución para el elevado costo por el uso de esta tecnología, es la creación de un financiamiento por parte del gobierno o de CFE. Posiblemente la inversión inicial sea fuerte, pero dentro de un periodo de tiempo a mediano plazo con la reducción del consumo de electricidad se obtiene un importante ahorro económico, es decir, es redituable.
- Darle mayor impulso a la generación distribuida brinda beneficios tanto para el usuario como para el proveedor del sistema de energía eléctrica, ya que el la energía que produce el usuario con sus propios equipos la puede consumir y el excedente se lo puede vender a CFE. Además de que la calidad de la energía producida es buena debido a que no tiene variaciones de voltaje. Con esto también se evita el daño al medio ambiente.
- Actualmente los equipos (aerogeneradores y miniaerogeneradores) se tienen que importar por la falta de proveedores y aun cuando existieran proveedores el costo de los equipos sería muy alto ya que éste también los tiene que importar. Para evitar esto debemos impulsar a la existencia de empresas mexicanas que fabriquen estos

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

equipos para reducir los costos de comercialización y al mismo tiempo estaremos ayudando al país con el incremento del PIB.

- Desafortunadamente no existe mucha información sobre el viento en la Ciudad de México para saber cuál es el potencial de esta energía renovable en dicha localidad. Un ejemplo de esto son las figuras 5 y 6 (correspondientes al capítulo 3: energía eólica en México), en las que la Secretaría de Energía (SENER) muestra el potencial probado y probable de las energía renovables en cada entidad federativa, pero no aparece la Ciudad de México. Las únicas fuentes de información que cuentan con información (de forma general) relacionada al viento en la Ciudad de México para ser consultadas son: a) CONAGUA. (<http://smn.cna.gob.mx/es/>), b) CFE, publicaciones. (<http://www.cfe.gob.mx/paginas/Home.aspx>) y c) Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU), UNAM. (<http://www.ruoa.unam.mx/pembu/>)
- Considero de vital importancia que el gobierno junto con Institutos y/o Universidades trabajen en conjunto para realizar un análisis detallado del país para identificar cuál es el potencial de cada una de las energías renovables por zonas (estado por estado) con el objetivo de implementar un plan para la instalación de los equipos que generan energía eléctrica con cada una de las energías renovables, es decir, los estados que reciben más luz solar, instalar celdas fotovoltaicas; para los que cuentan con mayores velocidades del viento, instalar parques eólicos.

Referencias bibliográficas

Bibliografía

- (12 de Abril de 2015). Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Global Wind Energy Council:
<http://www.gwec.net/>
- Adamson, K.-A. (2012). *Renewable distributed energy generation*. Recuperado el 4 de Febrero de 2015, de Navigant research: www.navigantresearch.com
- Anaya, K., & Pollit, M. (2015). Integrating distributed generation: Regulation and trends in three. *Energy Policy*, 475–486.
- Appleyard, D. (4 de Febrero de 2015). *Wind Energy Outlook 2015: Could Total Installed Wind Capacity Reach 2,000 GW by 2030?* Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Renewable Energy World.Com: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2015/02/wind-energy-outlook-2015-could-total-installed-wind-capacity-reach-2000-gw-by-2030.html>
- Arboledas, J. L. (7 de Noviembre de 2015). *Suecia apostará por las energía renovables y dejar de utilizar combustibles fósiles*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de Actualidad Gadget: <http://www.actualidadgadget.com/suecia-apostara-por-las-energia-renovables-y-dejar-de-utilizar-combustibles-fosiles/>
- CFE. (2016). *Consulta tu tarifa*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2016, de CFE: http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM&Anio=2016&mes=12
- Cruz Serrano, N. (13 de Enero de 2014). Prevén inversión de 14 mil mdd en plantas de generación eólica. *El Universal*, págs. 1-3.
- El potencial eólico mexicano*. (4 de Marzo de 2012). Recuperado el 12 de Diciembre de 2014, de Asociación Mexicana de Energía Eólica: <http://www.amdee.org/>
- Eólica, A. M. (2014). *2 Congreso Internacional de Sustentabilidad*. Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Asociación Mexicana de Energía Eólica: <http://www.amdee.org/>

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

- Fernández Salgado, J. M. (2011). *Guía completa de la energía eólica*. Madrid: Vicente ediciones.
- Fried, L. (Octubre de 2014). *Global Wind Energy Outlook 2014*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Global Wind Energy Council: <http://www.gwec.net/>
- Fried, L., Shukla, S., Sawyer, S., & Sven, T. (2016). *Global Wind Energy Outlook 2016*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016, de Global Wind Energy Council: <http://www.gwec.net/>
- Gsanger, S. (Marzo de 2015). *World Wind Energy Association: Quarterly Bulletin Issue 1*. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de World Wind Energy Association: <http://www.wwindea.org/>
- Hossain, J. (Octubre de 2015). *Wind Energy 2050: On the shape of near 100% RE grid*. Recuperado el 11 de Febrero de 2016, de World Wind Energy Association: <http://www.wwindea.org/>
- Is a 100 per cent renewables-powered world really possible?* (s.f.). Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de Global Wind Energy Council: <http://www.gwec.net/>
- Jiménez Estévez, G. (2016). *Distributed Energy Resources as a Solution for Universal Energy Access in Latin America*. Recuperado el 26 de Febrero de 2016, de IEEE smartgrid: <http://smartgrid.ieee.org/newsletters/august-2014/distributed-energy-resources-as-a-solution-for-universal-energy-access-in-latin-america>
- Kahn, B. (10 de Mayo de 2015). *Hawaii Plans to Run on 100 Percent Renewables*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2015, de Discovery news: <http://news.discovery.com/earth/global-warming/hawaii-plans-to-run-on-100-percent-renewables-150510.htm>
- Klose, F. (29 de junio de 2010). *Toward a Distributed-Power World*. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de [bcg.perspectives: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/energy_environment_sustainability_toward_a_distributed_power_world/?chapter=2](http://www.bcgperspectives.com/content/articles/energy_environment_sustainability_toward_a_distributed_power_world/?chapter=2)

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

- Kubecek, V. (15 de Septiembre de 2015). *IEA Statistics: Monthly electricity statistics*. Recuperado el 13 de Febrero de 2016, de International Energy Agency: <http://www.iea.org/>
- Lahuna, F., & Steve, S. (2014). *Global Winda Report Outlook*. Recuperado el 7 de Marzo de 2015, de Global Wind Energy Council: <http://www.gwec.net/>
- line, S. P. (25 de Noviembre de 2015). *Inauguran primer parque eólico de Puebla en el municipio de Esperanza*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2015, de Puebla On line: <http://www.pueblaonline.com.mx/2015/portal/index.php/estado/item/32564-fotos-inauguran-primer-parque-eolico-de-puebla-en-el-municipio-de-esperanza#.VvVyNWP33Uq>
- Mackinnon, L. (2014). *Global distributed generation deployment forecast*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de Navigant research: www.navigantresearch.com
- Matakiviti, A. (2014). *Understanding small wind energy systems*. Obtenido de International Union for Conservation of Nature: http://www.iucn.org/news_homepage/all_news_by_theme/?14661/Understanding-small-wind-energy-systems
- Méndez Muñiz, J. M. (2012). *Energía eólica*. Madrid, España: F.C. España.
- México, G. d. (2016). Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de Suprema Corte de Justicia de la Nación: <https://www.scjn.gob.mx/Paginas/Inicio.aspx>
- Nyquist, S. (4 de Mayo de 2015). *Lower Oil Prices, but More Renewables: What's Going On?* Recuperado el 25 de Abril de 2015, de Linked In: <https://www.linkedin.com/pulse/lower-oil-prices-more-renewables-whats-going-scott-nyquist>
- Owens, B. (2014). *The raise of distributed power*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <https://www.ge.com/sites/default/files/2014%2002%20Rise%20of%20Distributed%20Power.pdf>
- Petrie, E., Lee, W., & Takahashi, M. (s.f.). *Distributed Generation in Developing Countries*.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Pitteloud, J.-D., & Gsanger, S. (Marzo de 2016). *Small Wind World Report 2016*. Recuperado el 16 de Marzo de 2016, de World Wind Energy Association: <http://www.wwindea.org/>

Principios de conversión de la energía eólica. (s.f.).

Prospectiva del sector eléctrico: 2013-2027. (2013). Recuperado el 5 de Enero de 2014, de Secretaria de Energía: <http://www.gob.mx/sener>

Prospectivas de Energías Renovables 2012-2026. (2012). Recuperado el 10 de Febrero de 2013, de Secretaria de Energía: <http://www.gob.mx/sener>

Prospectivas de Energías Renovables 2015-2029. (2015). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de Secretaria de Energía: <http://www.gob.mx/sener>

Prospectivas del sector eléctrico 2015-2029. (2015). Recuperado el 17 de Febrero de 2016, de Secretaria de Energías: <http://www.gob.mx/sener>

Randall, T. (14 de Abril de 2015). *Fossil Fuels Just Lost the Race Against Renewables*. Recuperado el 25 de Abril de 2015, de Bloomberg: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-04-14/fossil-fuels-just-lost-the-race-against-renewables>

Sawyer, S. (Marzo de 2015). *Global Winda Report 2014: annual market update*. Recuperado el 23 de Marzo de 2015, de Global Wind Energy Council: <http://www.gwec.net/>

Small Wind Energy. (5 de Enero de 2015). Recuperado el 26 de Marzo de 2015, de Wind Energy Foundation: <http://windenergyfoundation.org/about-wind-energy/small-wind/>

Staedter, T. (9 de Junio de 2015). *U.S. Could Have 100 Percent Renewable Energy by 2050*. Recuperado el 11 de Junio de 2015, de Discovery news: <http://news.discovery.com/tech/alternative-power-sources/us-could-have-100-percent-renewable-energy-by-2050-150609.htm>

Talayero Navales, A. P. (2008). *Energía eólica*. España: Prensas Universitarias de Zaragoza.

The World Wind Energy Association: A half report 2014. (2014). Obtenido de World Wind Energy Association: <http://www.wwindea.org/>

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Villarubia López, M. (2013). *Ingeniería de la energía eólica*. México: Alfaomega.

Walker, L. (14 de Agosto de 2012). *Distributed Renewable Power Supply to Triple by 2017*.

Recuperado el 7 de Febrero de 2015, de Environmental leader:
<http://www.environmentalleader.com/2012/08/14/pike-distributed-renewable-power-supply-to-triple-by-2017/?graph=full&id=1>

Watts, J. (3 de Diciembre de 2015). *Uruguay makes dramatic shift to nearly 95% electricity from clean energy*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2015, de The Guardian:

<http://www.theguardian.com/environment/2015/dec/03/uruguay-makes-dramatic-shift-to-nearly-95-clean-energy>

World Energy Outlook. (2014). Recuperado el 4 de Octubre de 2015, de International Energy Agency: <http://www.iea.org/>

Glosario

Buje: El buje del rotor permite acoplar el rotor al eje de baja velocidad del aerogenerador.

Sistema Activo de Giro de Pala: Sistema activo de giro de las palas sobre su eje longitudinal que controla las actuaciones de la máquina. Cuando el generador funciona a carga parcial se mantendrá el ángulo de ataque del perfil de tal manera que se extraiga la máxima potencia del viento. Cuando las velocidades del viento son muy elevadas se disminuye el ángulo de ataque, manteniendo la potencia constante y reduciendo las fuerzas sobre el rotor eólico.

Sistema Hidráulico: Dentro del buje hay un sistema hidráulico que permite el movimiento de las palas en torno a su eje longitudinal. Se puede acceder a él desde una entrada en el propio buje.

Sistema de Bloqueo del Rotor: Cuando es necesario realizar algún tipo de mantenimiento dentro del buje, existen sistemas que permiten mantenerlo bloqueado.

Mecanismo de Control de Balanceo: En una aeroturbina la conexión entre el rotor eólico y el eje de baja velocidad es uno de los puntos más críticos. A esta interfaz se la conoce habitualmente como buje, y se caracteriza por incorporar un mecanismo de control del balanceo que controla el movimiento del rotor perpendicular a su plano de rotación, permitiendo reducir las cargas de fatiga en toda la aeroturbina. El costo, la complejidad y el peso del buje son aspectos importantes que deben ser considerados en el diseño de una aeroturbina eficiente. La experiencia dice que han aparecido serios problemas en la integración de la raíz de las palas al buje, la propia conexión del buje al aerogenerador, las conexiones para configurar el mecanismo de cambio de paso de pala, así como el acoplamiento adecuado de las juntas y cojinetes de los sistemas de balanceo y sus sistemas de control.

Góndola: La góndola contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina.

Acoplamiento Fijo entre el Buje y el eje de Baja Velocidad: Permite transmitir el movimiento del rotor eólico, al capturar las palas la energía del viento.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA-

Anexo A

Ejemplo de consumo de energía eléctrica:

Sector: doméstico

Tarifa: 1

Consumo de electricidad bimestral: 151 kWh

**TARIFAS DOMESTICAS, 2016
CARGOS POR ENERGIA (\$/kWh)**

Tarifa 1

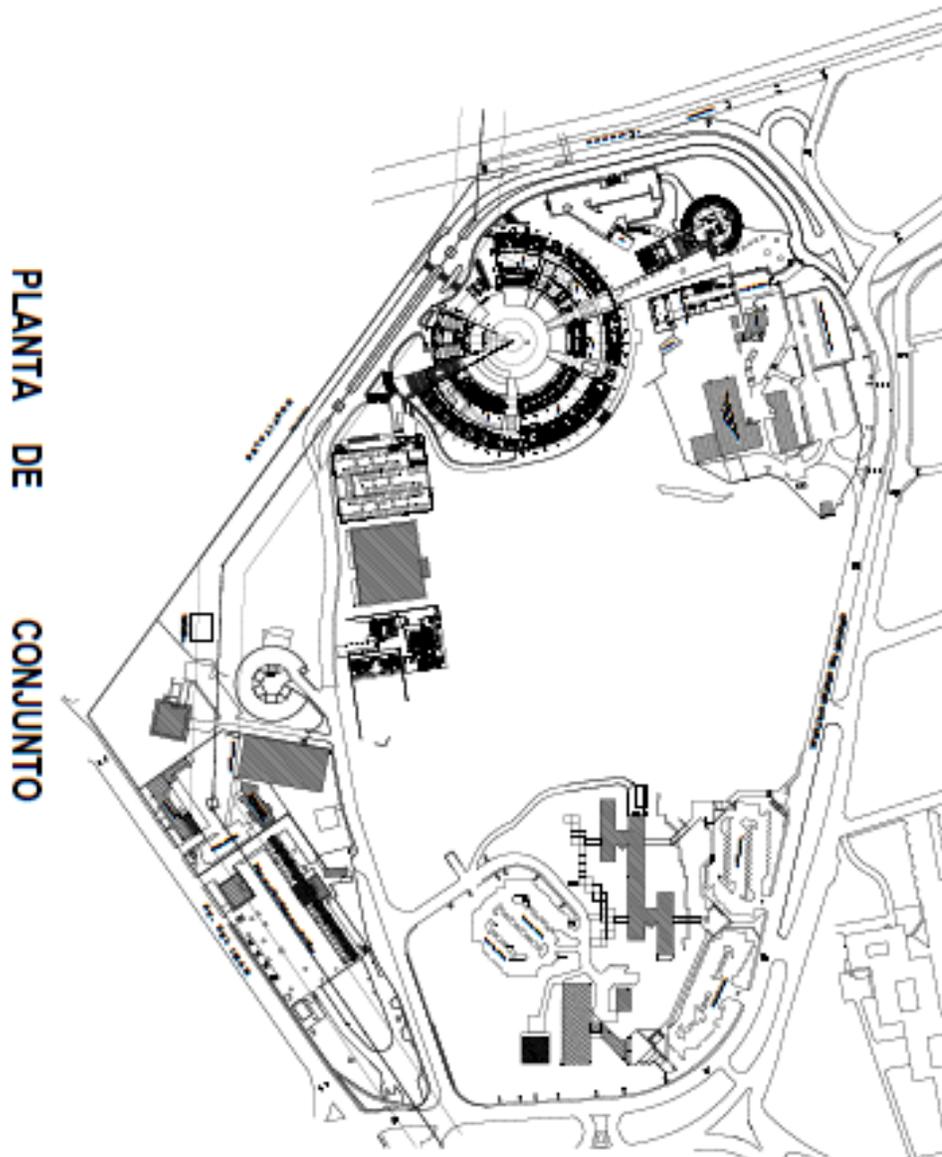
Consultar tarifas de: 2016

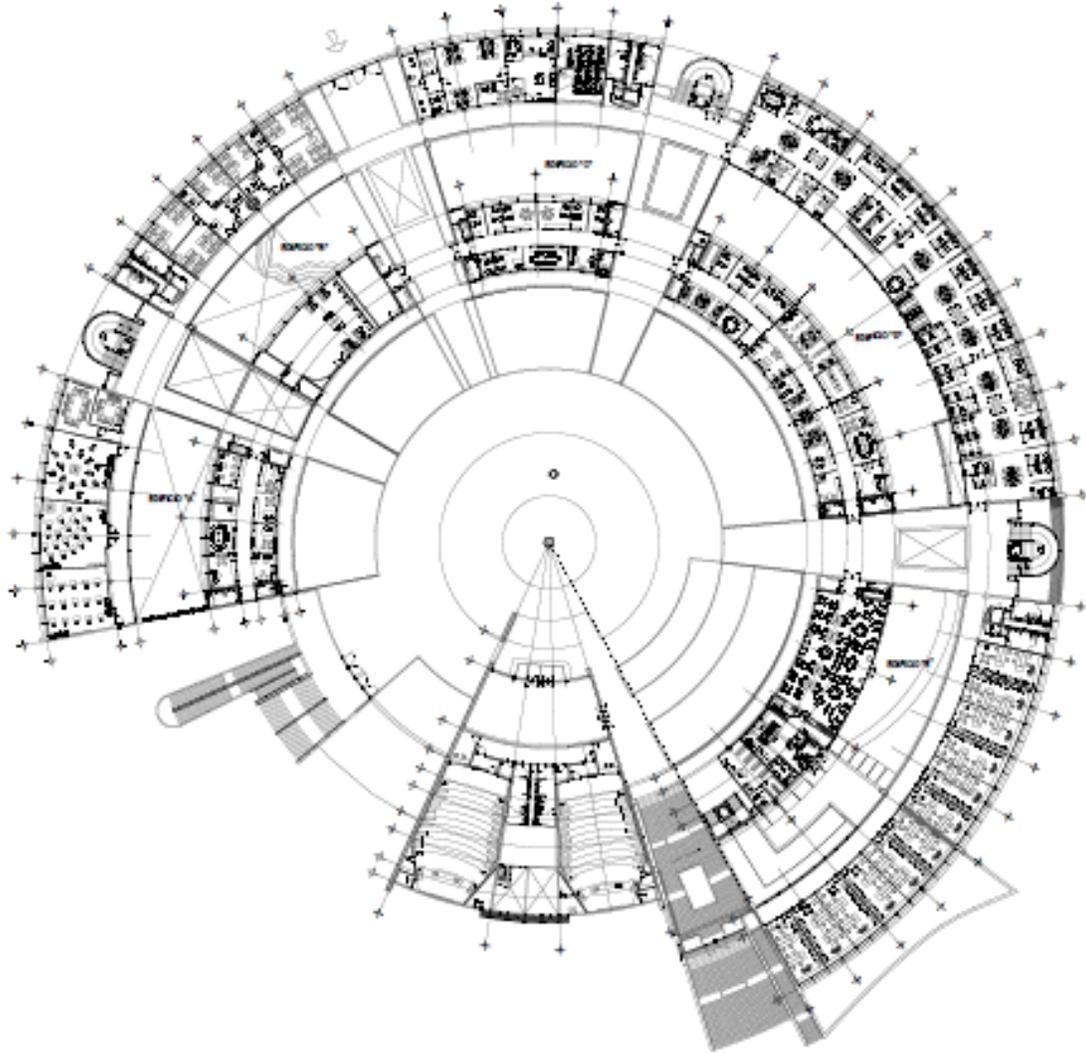
RANGO DE CONSUMO	DIC./2015	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	May.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Básico 1-75	0.809	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793	0.793
Intermedio 76-140	0.976	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956
Excedente	2.859	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802

Clave	Concepto	Sistema FV (265 W)	Minieólica (1 kW)	Minihidráulica	Generador
1	Inversión inicial en equipos (\$ M.N.)	\$ 195,601.64	\$ 177,466.14	\$ 50,000	\$ 150,000
2	Generación de energía (kWh/mes)	180	40	6	240
3	Amortización de electricidad al mes (\$ M.N.)	\$ - 172	\$ - 38.24	\$ - 172	\$ - 229.44
4	Costo kwh/día Tarifa 1. (Sept 16)	\$ 0.956	\$ 0.956	\$ 0.956	\$ 0.956
5	Amortización de electricidad al año (\$ M.N.)	\$ - 62,809.2	\$ - 13,957.6	\$ - 62,809.2	\$ - 83,745.6
6	Tiempo de retorno de la inversión (años)	3.5	13	3.5	2

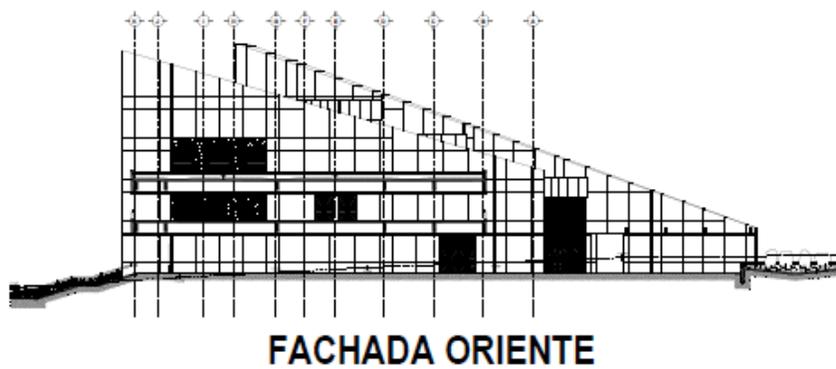
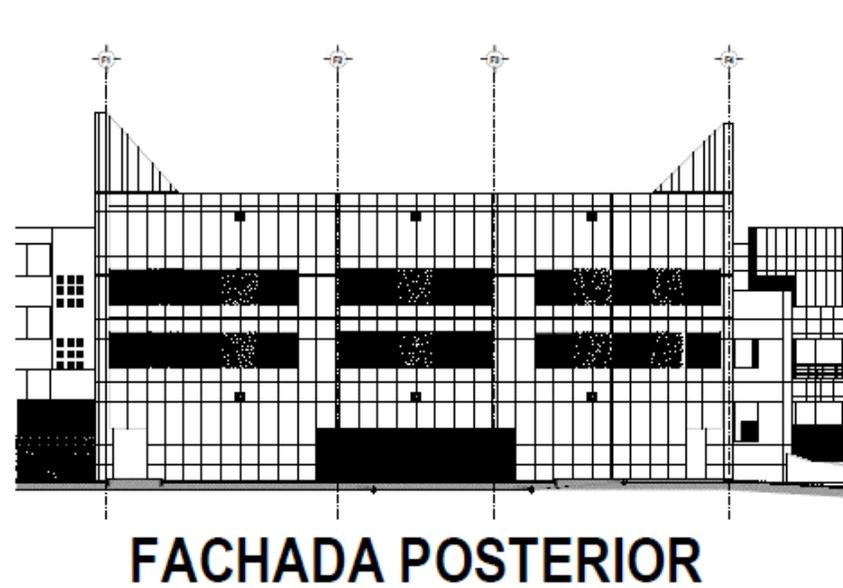
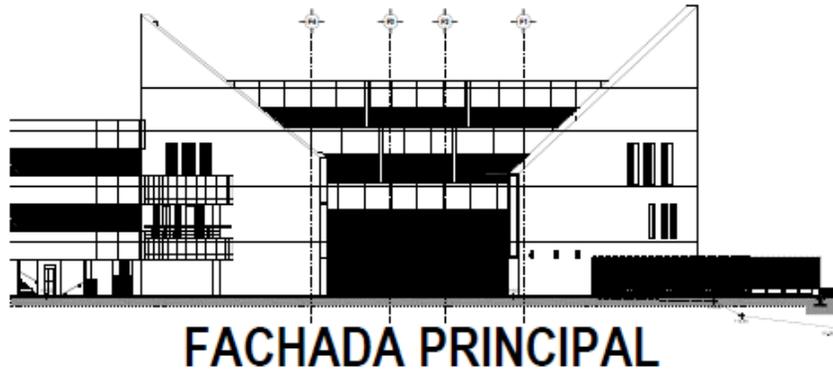
Anexo B

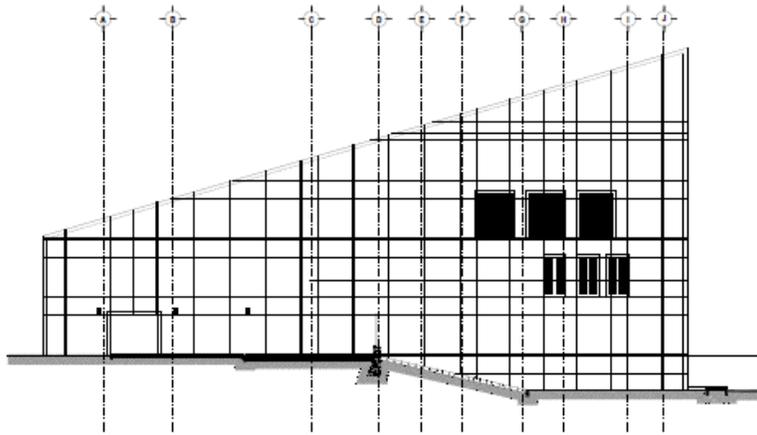
Planos arquitectónicos de los auditorios de la Unidad de Posgrado





PLANTA DE LA UNIDAD DE POSGRADO

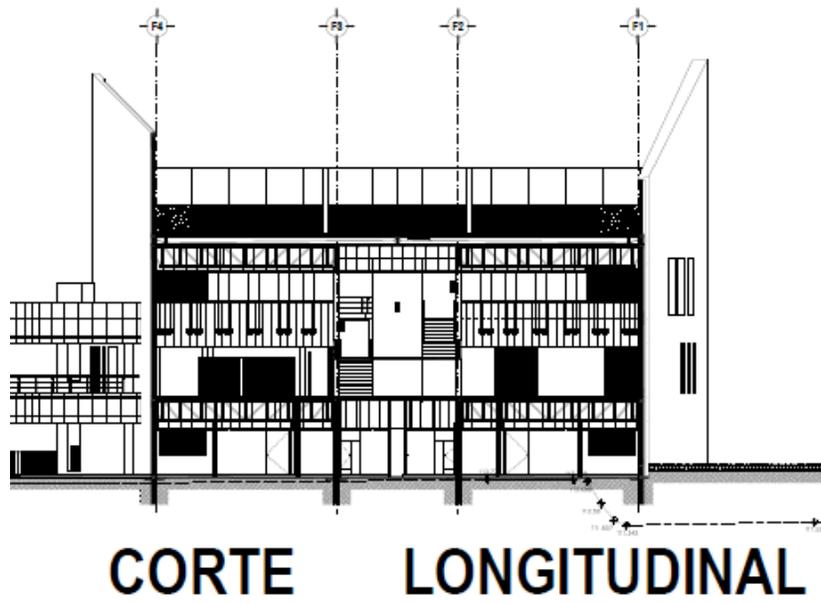
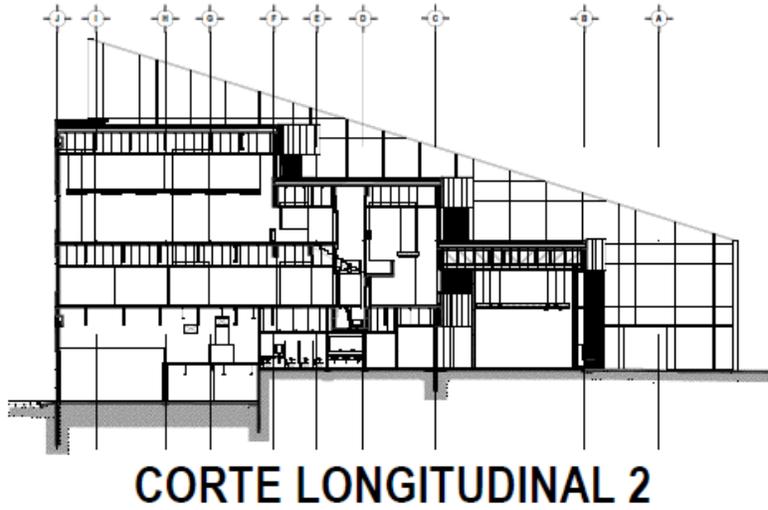


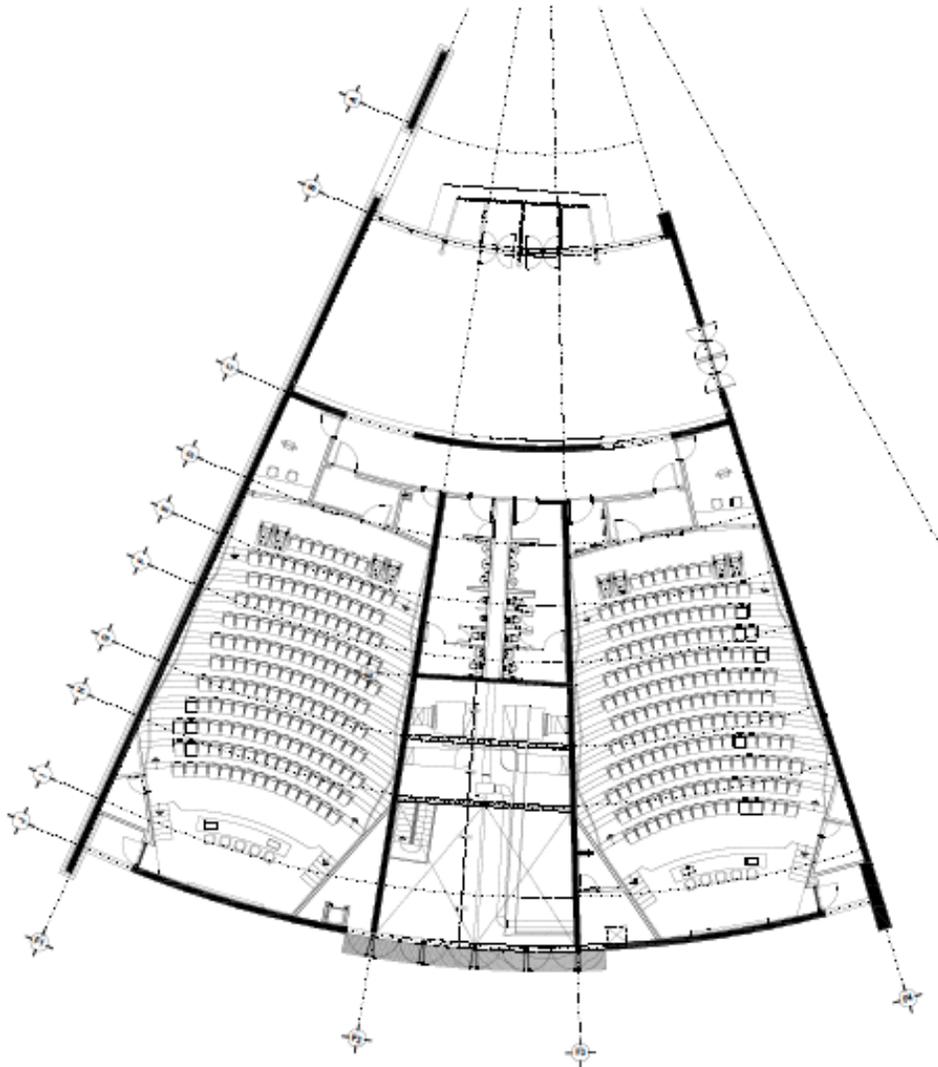


FACHADA PONIENTE

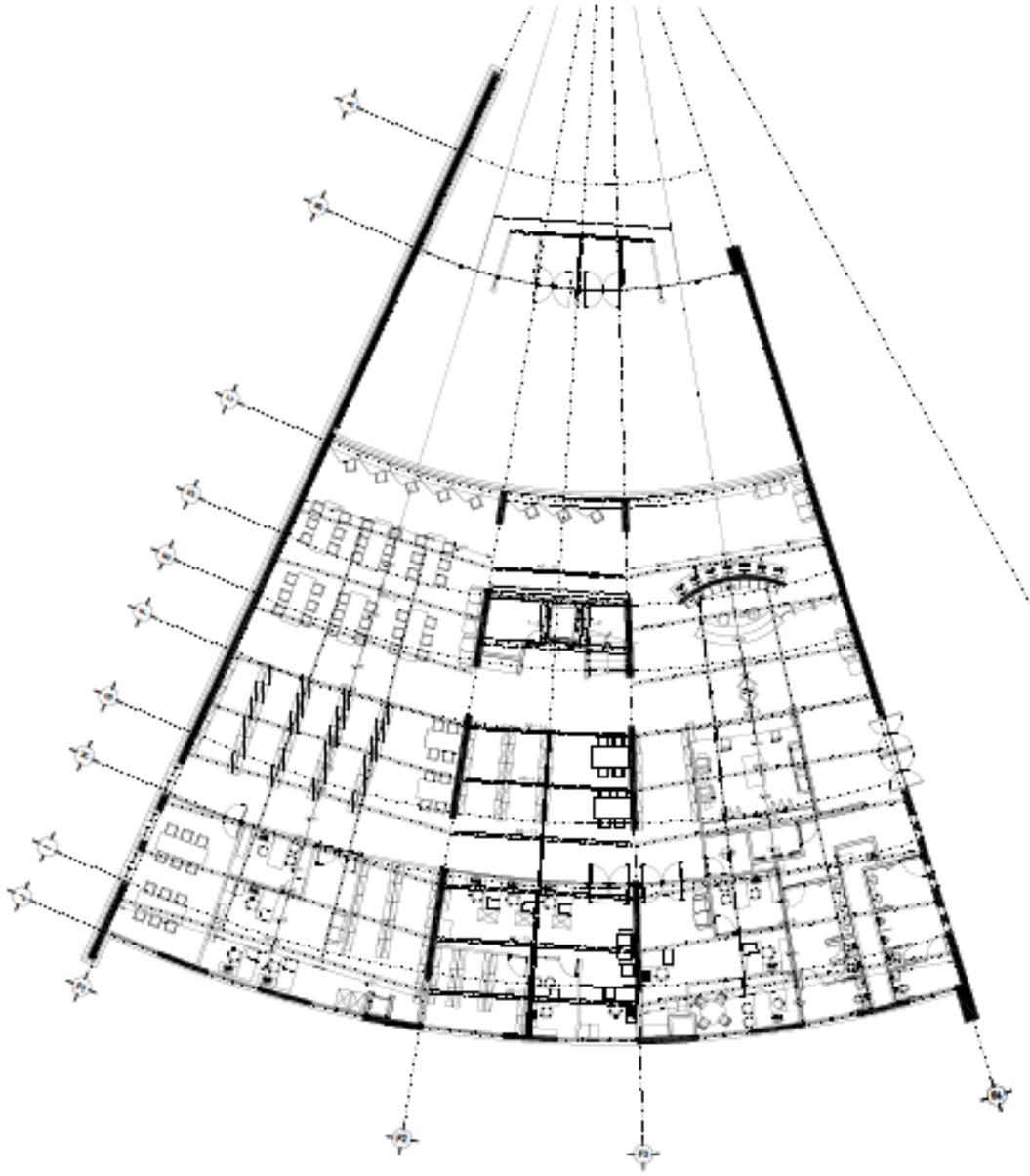


CORTE TRANSVERSAL 1

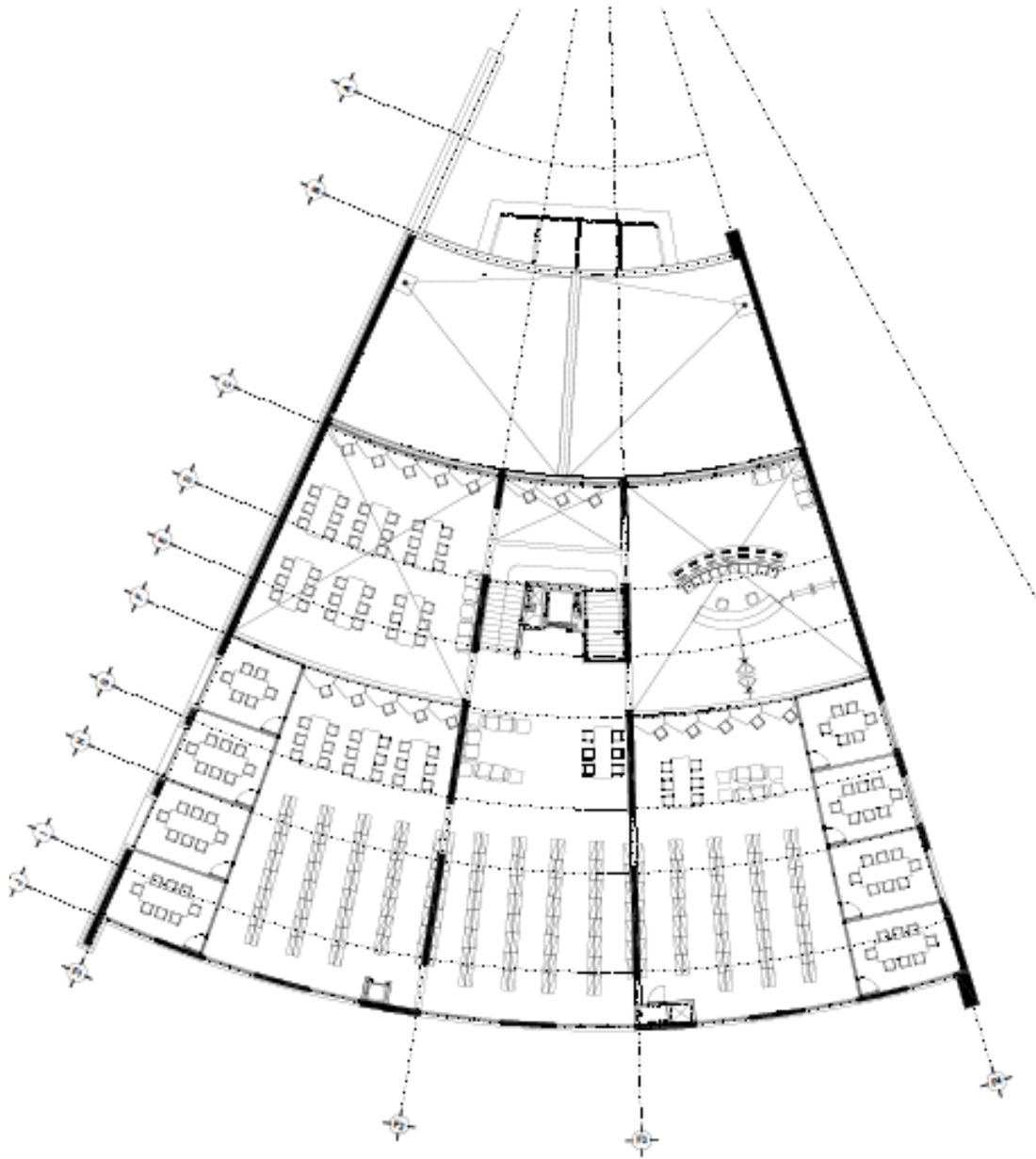




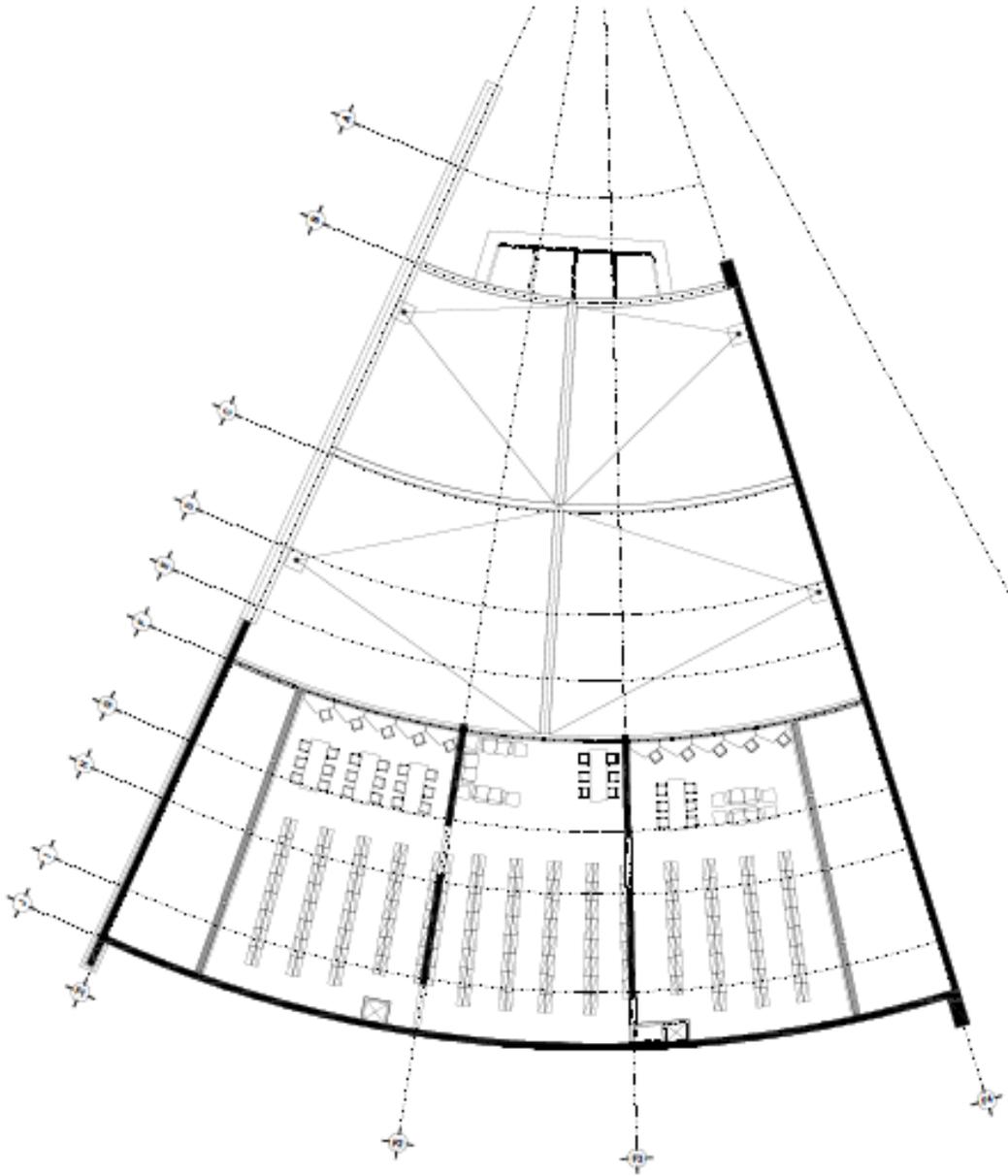
PLANTA BAJA (EDIFICIO F)



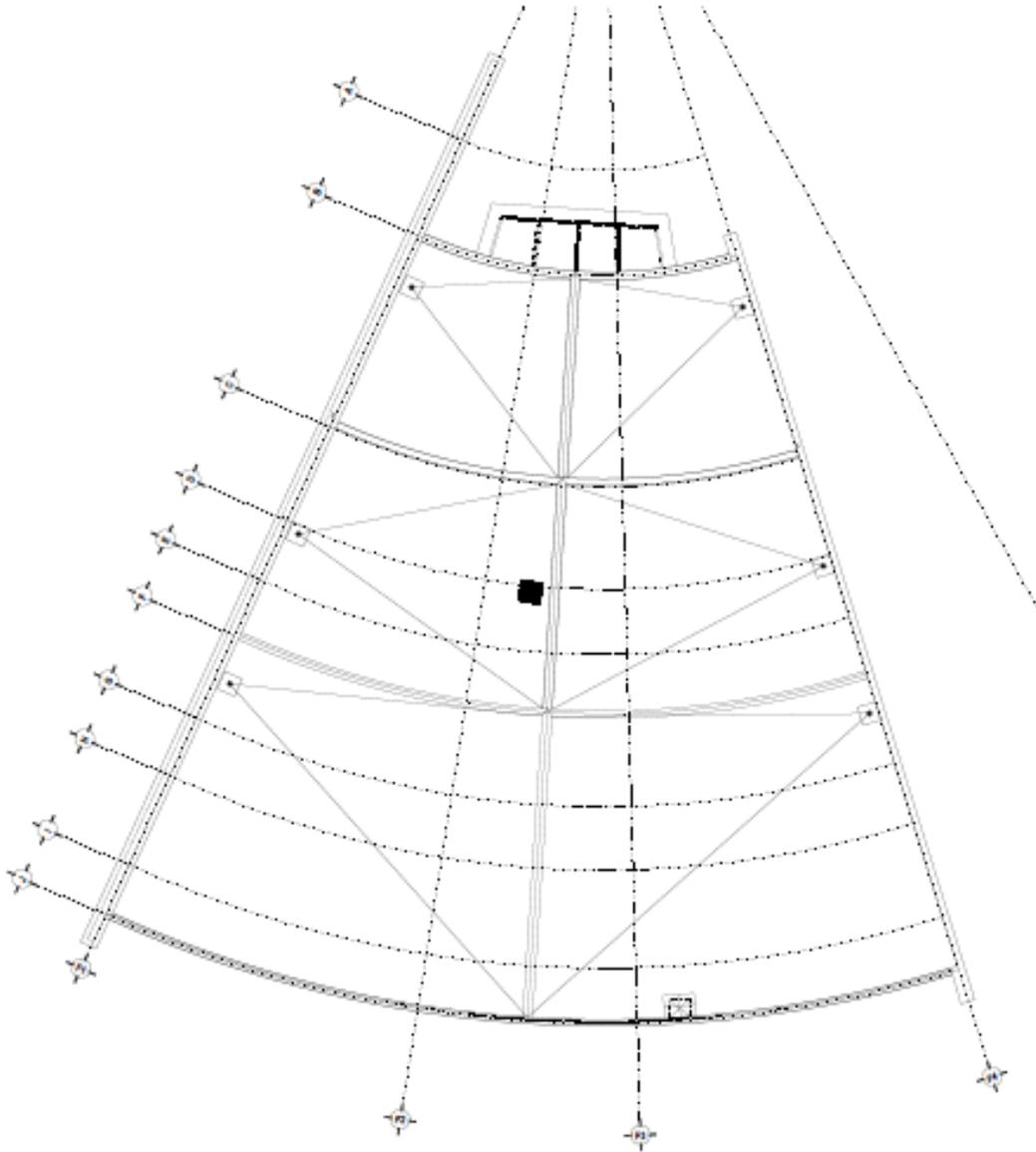
PLANTA PRIMER NIVEL (EDIFICIO F)



PLANTA SEGUNDO NIVEL (EDIFICIO F)



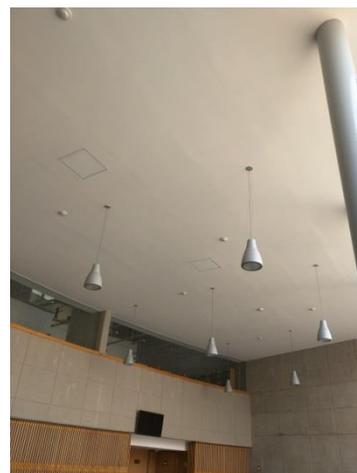
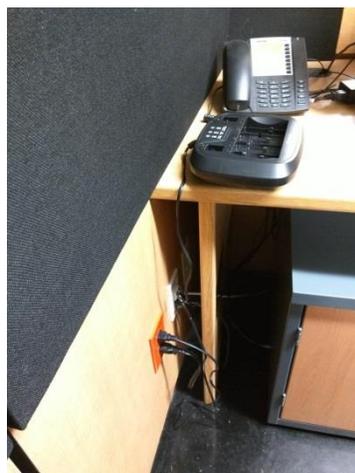
PLANTA TERCER NIVEL (EDIFICIO F)



PLANTA AZOTEA (EDIFICIO F)

Anexo C

Fotografías de los auditorios y de los aparatos electrónicos



Arq. Ivan R. Valdivia Ortega 2016

Anexo D

Ficha técnica

E70 PRO

Wind Turbine



FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de unos 10 - 12 m/s el modelo Enair 70 PRO es capaz de generar más de 70 kWh/día.

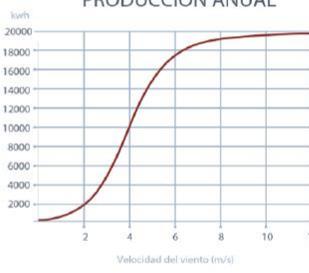
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO	
Número de palas	3
Material palas	Fibra de vidrio con resinas epoxi y núcleo de poliuretano
Generador	250 rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500 W
Potencia nominal curva	4000 W
Voltaje	24 / 48 / 220
Clase de viento	IEC / NVN I - A
Diámetro	4,3 m
Sentido de giro	Horario
Área barrida	14,5 m ²
Peso	165 kg
Aplicaciones	Conexiones aisladas a baterías y conexión a red eléctrica
Viento para arrancar	1,8 m/s
Velocidad nominal	12 m/s
Vel. regulación del paso variable	13 m/s
Velocidad soportada	Más de 60 m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a más de 60 m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo
Transmisión	Directa
Freno	Eléctrico
Controlador	Opción de conexión a red y carga de baterías
Inversor	Eficiencia 95%; algoritmo MPPT
Ruido	Reducido al mínimo: debido al diseño de las palas y las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento.
Protección anti-corrosión	Diseño totalmente sellado, con cataforesis en elementos de metal y pintura epoxi para entornos salinos de alta humedad.
Torre	12, 15 y 18 m, abatible, atirantada o de celosía

PRODUCCIÓN ÓPTIMA INCLUSO A MÁS DE 165km/h

CURVA DE POTENCIA



PRODUCCIÓN ANUAL



Av. Domingo Díez # 910 Lomas de la Selva, Cuernavaca; Morelos. C.P. 62270 Tel: (777) 101 11 17

ALCIONE
Tu aliado en material eléctrico

www.alcione.mx <http://panelessolares.alcione> energias-alternas@alcione.mx



alcione.mx



alcionemx



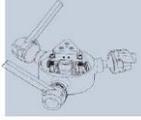
alcionemx



@alcionemx

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

PASO VARIABLE PASIVO



Tecnología patentada para maximizar la producción de la energía. Es un sistema mecánico que gracias a la fuerza centrífuga modifica el vector aerodinámico de las palas para que se obtenga en cada caso la máxima energía de las mismas y nunca sobrepase el rotor sus rpm de diseño.

Gracias a el conseguimos:

- Menos ruido
- Más capacidad de absorber fuertes vientos
- Más constancia en la generación
- Más energía con menos viento

CONTROL ELECTRÓNICO



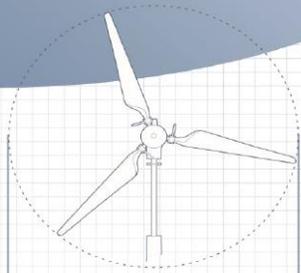
Sistema de gestión de la energía inteligente

Conexión a baterías:
7 tipos de baterías programables (litio, plomo, gel, etc.)
Cargador con pulsos de derivación a resistencias en caso de sobrecarga. Solo deriva el exceso que no puede cargar, para proteger las baterías.

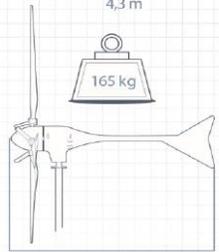
Conexión a red:
Por medio de los inversores MPPT, los cuales van programados con la curva de potencia eólica que maximiza la energía en todo momento. Compatible con redes trifásicas y monofásicas, en sistemas europeos y americanos.



E70PRO Wind Turbine FICHA TÉCNICA



4,3 m



3,4 m



UN NUEVO DISEÑO, UNA NUEVA ENERGÍA
Cuando aplicas la última tecnología en diseño, la última tecnología en simulación, los mejores materiales del mercado y lo combinas con más de 40 años de experiencia, el resultado es: **el mejor aerogenerador del mercado**

MÁS EFICIENCIA

Un PMG con imanes más potentes y un rotor totalmente integrado en la chapa magnética, junto a una mejora de los perfiles de las palas hacen que con menos viento, seamos más eficientes.

MÁS ROBUSTEZ

El diseño del conjunto, se ha desarrollado teniendo en cuenta un **centro de gravedad posicionado** para equilibrar las tensiones y mejorar las cargas.

MÁS SEGURIDAD

Al incorporar nuevos materiales como el carbono y la integración de las resinas epoxi con el acero, los **factores de seguridad** se incrementan llegando a $F_s=9$.

MÁS ENERGÍA

Uniendo todas las mejoras y aplicando la dinámica de fluidos computacional hace que mejoremos un **15% la producción de energía**.

Mínimo ruido
El ruido está en torno a un 1% por encima del ruido ambiente, siendo prácticamente inapreciable para nuestro oído.

Máxima eficiencia
Funciona con una simple brisa de 2 m/s y continúa funcionando a más de 40 m/s sin perder eficiencia de productividad.

Anticorrosivo
Tratado con catáforesis, se convierte en un conjunto anticorrosivo y antisalino ideal para islas y costas.

Hermético
Sellado herméticamente en todas sus juntas, para evitar filtraciones de humedad y micropartículas que arrastra el aire. Evita deterioros en zonas de costa o desierto donde hay mucha arena.

Robusto
Para poder soportar fuertes vientos y ofrecer una larga vida de operación todas las piezas del equipo están sobredimensionadas.



EN PROCESO DE CERTIFICACIÓN...



Av. Domingo Díez # 910 Lomas de la Selva, Cuernavaca; Morelos. C.P. 62270 Tel: (777) 101 11 17



www.alcione.mx <http://panelessolares.alcione> energias-alternas@alcione.mx



Arq. Ivan R. Valdivia Ortega 2016

Anexo E

Cotización de equipos



El tipo de cambio que se consideró es de: \$ 20.33. Correspondiente al día Lunes 12 de Diciembre del 2016.

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Día/mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12:00 a.m.	SSE	VV																													
01:00 a.m.																															
02:00 a.m.																															
03:00 a.m.																															
04:00 a.m.																															
05:00 a.m.																															
06:00 a.m.																															
07:00 a.m.																															
08:00 a.m.																															
09:00 a.m.																															
10:00 a.m.																															
11:00 a.m.																															
12:00 p.m.																															
01:00 p.m.																															
02:00 p.m.																															
03:00 p.m.																															
04:00 p.m.																															
05:00 p.m.																															
06:00 p.m.																															
07:00 p.m.																															
08:00 p.m.																															
09:00 p.m.																															
10:00 p.m.																															
11:00 p.m.																															

JULIO

Día/mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12:00 a.m.																															
01:00 a.m.																															
02:00 a.m.																															
03:00 a.m.																															
04:00 a.m.																															
05:00 a.m.																															
06:00 a.m.																															
07:00 a.m.																															
08:00 a.m.																															
09:00 a.m.																															
10:00 a.m.																															
11:00 a.m.																															
12:00 p.m.																															
01:00 p.m.																															
02:00 p.m.																															
03:00 p.m.																															
04:00 p.m.																															
05:00 p.m.																															
06:00 p.m.																															
07:00 p.m.																															
08:00 p.m.																															
09:00 p.m.																															
10:00 p.m.																															
11:00 p.m.																															

AGOSTO

Gráficas propias

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

		SEPTIEMBRE																													
Día mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
12:00 a.m.	W	NNW	WSW	W	W	W	W	NNW	SW	W	WNW	NW																			
01:00 a.m.	WSW	NNW	WSW	W	NNW	W	NNW	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
02:00 a.m.	SW	NNW	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
03:00 a.m.	SW	NE	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	SE	WSW																		
04:00 a.m.	SW	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
05:00 a.m.	SW	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
06:00 a.m.	SW	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
07:00 a.m.	SW	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
08:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
09:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
10:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
11:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
12:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
01:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
02:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
03:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
04:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
05:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
06:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
07:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
08:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
09:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
10:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		
11:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	NNW	SW	WSW	SW	WNW	NNW																		

		OCTUBRE																													
Día mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
01:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
02:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
03:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
04:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
05:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
06:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
07:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
08:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
09:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
10:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
11:00 a.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
12:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
01:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
02:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
03:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
04:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
05:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
06:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
07:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
08:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
09:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
10:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	
11:00 p.m.	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	

Gráficas propias

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

		NOVIEMBRE																													
Día mes	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
12:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	SW	WV																									
01:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
02:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
03:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
04:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
05:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
06:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
07:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
08:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
09:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
10:00 a.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										
11:00 p.m.	SW	WV	SW	SW	WV																										

		DICIEMBRE																														
Día mes	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12:00 a.m.	S	WV	WV	NW																												
01:00 a.m.	SW	SE	WV																													
02:00 a.m.	SW	S	N																													
03:00 a.m.	S	NW	SE																													
04:00 a.m.	S																															
05:00 a.m.	S																															
06:00 a.m.	S																															
07:00 a.m.	S																															
08:00 a.m.	E	NW	NNE	S																												
09:00 a.m.	NE	E	WV	NNE	WV																											
10:00 a.m.	NE	E	WV	NNE	WV																											
11:00 a.m.	S	NW	NW																													
12:00 p.m.	WV	NE	NW																													
01:00 p.m.	E	SE	NW	NW	S	NW																										
02:00 p.m.	NE	WV	SE	NW	NW	S	NW																									
03:00 p.m.	NE	WV	SE	NW	NW	S	NW																									
04:00 p.m.	S																															
05:00 p.m.	S																															
06:00 p.m.	S																															
07:00 a.m.	S																															
08:00 a.m.	E	NW	NNE	S																												
09:00 a.m.	NE	E	WV	NNE	WV																											
10:00 p.m.	NE	E	WV	NNE	WV																											
11:00 p.m.	S																															

Gráficas propias

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

MARZO		ABRIL																													
Día mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12:00 am	2.4	0	2.4	3.2	0	3.2	2.4	0.8	3.2	4	3.2	0.8	1.6	0.8	3.2	4.8	2.4	1.6	1.6	3.2	0.8	0	0.8	3.2	0	1.6	0	0	1.6	4	
01:00 am	2.4	3.2	2.4	3.2	0	2.4	1.6	0	3.2	3.2	2.4	1.6	3.2	1.6	3.2	3.2	1.6	0.8	1.6	0	1.6	0	1.6	4.8	0	0	0	1.6	0	1.6	4.8
02:00 am	1.6	3.2	2.4	2.4	0	2.4	0.8	0	3.2	3.2	1.6	0.8	3.2	1.6	2.4	2.4	1.6	0.8	1.6	0	1.6	0	0.8	4.8	0	0	1.6	0	1.6	2.4	2.4
03:00 am	2.4	3.2	3.2	3.2	0	1.6	2.4	0.8	0	3.2	0.8	1.6	3.2	0.8	3.2	3.2	1.6	1.6	1.6	0	2.4	0	0	4.8	0	0.8	0	1.6	0	1.6	1.6
04:00 am	0.8	1.6	2.4	3.2	0	1.6	1.6	0.8	0	3.2	2.4	1.6	3.2	1.6	3.2	1.6	1.6	1.6	1.6	0.8	0	0	4.8	1.6	0.8	0	1.6	0	1.6	2.4	
05:00 am	1.6	0.8	2.4	2.4	0	1.6	1.6	0.8	0	3.2	2.4	1.6	3.2	1.6	3.2	1.6	1.6	1.6	1.6	0.8	0	0	4.8	1.6	0.8	0	1.6	0	1.6	2.4	
06:00 am	1.6	0.8	2.4	2.4	0	1.6	1.6	0.8	0	3.2	2.4	1.6	3.2	1.6	3.2	1.6	1.6	1.6	1.6	0.8	0	0	4.8	1.6	0.8	0	1.6	0	1.6	2.4	
07:00 am	0.8	0	2.4	2.4	0	1.6	1.6	0.8	0	3.2	2.4	1.6	3.2	1.6	3.2	1.6	1.6	1.6	1.6	0.8	0	0	4.8	1.6	0.8	0	1.6	0	1.6	2.4	
08:00 am	1.6	2.4	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:00 am	1.6	2.4	0.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10:00 am	0.8	0	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0	0.8	1.6	1.6	0.8	0	1.6	2.4	2.4	1.6	1.6	3.2	0.8	2.4	1.6	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	1.6	1.6	
11:00 am	3.2	1.6	1.6	3.2	0.8	3.2	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
12:00 pm	3.2	1.6	1.6	3.2	0.8	3.2	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
01:00 pm	4	3.2	4	3.2	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	2.4	4	7.2	4.8	4.8	4	4	3.2	4.8	3.2	4	3.2	4.8	3.2	4	5.6	8.8	3.2	4	2.4	
02:00 pm	3.2	4	3.2	4	3.2	4	4.8	4.8	4	4.8	4.8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
03:00 pm	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	
04:00 pm	3.2	3.2	1.6	3.2	3.2	0.8	2.4	3.2	2.4	2.4	3.2	4.8	4.8	5.6	4	4	6.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	
05:00 pm	3.2	3.2	1.6	3.2	3.2	0.8	2.4	3.2	2.4	2.4	3.2	4.8	4.8	5.6	4	4	6.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	
06:00 pm	1.6	3.2	1.6	4.8	4.8	4	1.6	4.8	4	0.8	3.2	4.8	5.6	3.2	5.6	4.8	4.8	3.2	2.4	2.4	4	0.8	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	4.8	0	
07:00 pm	1.6	3.2	1.6	4.8	4.8	4	1.6	4.8	4	0.8	3.2	4.8	5.6	3.2	5.6	4.8	4.8	3.2	2.4	2.4	4	0.8	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	4.8	0	
08:00 pm	3.2	3.2	1.6	4.8	4.8	4	1.6	4.8	4	0.8	3.2	4.8	5.6	3.2	5.6	4.8	4.8	3.2	2.4	2.4	4	0.8	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	4.8	0	
09:00 pm	4	3.2	1.6	1.6	1.6	4	0.8	4.8	4	7.2	1.6	4	6.4	4.8	5.6	5.6	4	2.4	3.2	4.8	4	2.4	0.8	4	5.6	2.4	0	0.8	0	5.6	2.4
10:00 pm	2.4	2.4	0.8	0	2.4	4	2.4	4.8	4.8	4	3.2	3.2	4.8	4	1.6	1.6	2.4	3.2	2.4	2.4	1.6	0.8	5.6	0.8	4.8	0.8	1.6	0	6.4	0	
11:00 pm	0.8	3.2	2.4	0	2.4	2.4	1.6	4	4	3.2	2.4	0	3.2	2.4	0	3.2	2.4	1.6	1.6	2.4	0	4	0.8	3.2	0	1.6	1.6	2.4	2.4	4.8	0

Gráficas propias

Relación de los eventos en los auditorios	636.6 kWh
Totales horas al mes	117
Días ocupado al mes	15
Consumo de electricidad por la iluminación al mes (áreas comunes y 2 auditorios)	2.212.6 kWh

Simbología:
A1: Evento en el Auditorio 1
A2: Evento en el Auditorio 2

MARZO		ABRIL																													
Día mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12:00 am	3.2	1.6	4.8	1.6	4	2.4	2.4	1.6	1.6	2.4	4	3.2	1.6	0.8	1.6	1.6	3.2	3.2	2.4	2.4	3.2	1.6	2.4	4	0	3.2	2.4	2.4	0	4	
01:00 am	2.4	0	4	1.6	3.2	3.2	2.4	0.8	2.4	2.4	2.4	0.8	1.6	1.6	0.8	3.2	4	1.6	1.6	3.2	0	0	4	0	0	3.2	3.2	1.6	0	2.4	
02:00 am	2.4	0	4	1.6	3.2	3.2	2.4	0.8	2.4	2.4	2.4	0.8	1.6	1.6	0.8	3.2	4	1.6	1.6	3.2	0	0	4	0	0	3.2	3.2	1.6	0	2.4	
03:00 am	0	0	3.2	1.6	1.6	2.4	3.2	1.6	0	0	2.4	3.2	1.6	1.6	0.8	1.6	2.4	1.6	2.4	0.8	2.4	2.4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
04:00 am	0	0	2.4	0.8	0.8	1.6	1.6	2.4	0	1.6	0	3.2	2.4	1.6	0.8	1.6	2.4	2.4	0.8	2.4	0.8	2.4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
05:00 am	2.4	0.8	1.6	1.6	0.8	0.8	3.2	2.4	0	1.6	0	3.2	2.4	1.6	0.8	1.6	2.4	2.4	0.8	2.4	0.8	2.4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
06:00 am	3.2	0.8	2.4	1.6	1.6	0	3.2	0	2.4	0	2.4	2.4	1.6	3.2	2.4	1.6	3.2	0.8	0.8	3.2	0	0	0	2.4	2.4	1.6	2.4	0.8	0	0.8	
07:00 am	2.4	0.8	2.4	1.6	1.6	0	3.2	0	2.4	0	2.4	2.4	1.6	3.2	2.4	1.6	3.2	0.8	0.8	3.2	0	0	0	2.4	2.4	1.6	2.4	0.8	0	0.8	
08:00 am	0.8	0	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0	0.8	1.6	1.6	0.8	0	1.6	2.4	2.4	1.6	1.6	3.2	0.8	2.4	1.6	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	1.6	1.6	
09:00 am	1.6	0.8	0.8	0	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0	0.8	1.6	0.8	0	1.6	2.4	2.4	1.6	1.6	3.2	0.8	2.4	1.6	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	1.6	
10:00 am	3.2	1.6	1.6	3.2	0.8	3.2	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
11:00 am	3.2	1.6	1.6	3.2	0.8	3.2	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
12:00 pm	3.2	1.6	1.6	3.2	0.8	3.2	1.6	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
01:00 pm	4	3.2	4	3.2	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	2.4	4	7.2	4.8	4.8	4	4	3.2	4.8	3.2	4	3.2	4.8	3.2	4	5.6	8.8	3.2	4	2.4	
02:00 pm	3.2	4	3.2	4	3.2	4	4.8	4.8	4	4.8	4.8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
03:00 pm	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	2.4	3.2	
04:00 pm	3.2	3.2	1.6	3.2	3.2	0.8	2.4	3.2	2.4	2.4	3.2	4.8	4.8	5.6	4	4	6.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	
05:00 pm	3.2	3.2	1.6	3.2	3.2	0.8	2.4	3.2	2.4	2.4	3.2	4.8	4.8	5.6	4	4	6.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	
06:00 pm	1.6	3.2	1.6	4.8	4.8	4	1.6	4.8	4	0.8	3.2	4.8	5.6	3.2	5.6	4.8	4.8	3.2	2.4	2.4	4	0.8	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	4.8	0	
07:00 pm	1.6	3.2	1.6	4.8	4.8	4	1.6	4.8	4	0.8	3.2	4.8	5.6	3.2	5.6	4.8	4.8	3.2	2.4	2.4	4	0.8	3.2	3.2	0	0	0.8	1.6	4.8	0	
08:00 pm	3.2	3.2	1.6	4.8	4.8	4	1.6	4.8	4	0.8	3																				

GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

Días/mes		JULIO																														
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
12:00am	0.8	1.6	0	0	0	0	1.6	4	1.6	3.2	4	4	0.8	1.6	3.2	0	3.2	2.4	0	1.6	1.6	0	2.4	1.6	0	0.8	0	0.8	2.4	2.4	2.4	
01:00am	0	2.4	0	0	0	0	2.4	1.6	1.6	3.2	3.2	3.2	1.6	0	2.4	2.4	0	3.2	1.6	0	0.8	1.6	0	2.4	0	0.8	1.6	0.8	2.4	2.4		
02:00am	0	1.6	0	0	0	2.4	2.4	1.6	2.4	3.2	4	2.4	0	0	2.4	2.4	4	0.8	0.8	2.4	0	2.4	0	0.8	3.2	2.4	0.8	1.6	2.4	2.4		
03:00am	0	1.6	0	0	0	3.2	3.2	2.4	2.4	2.4	2.4	4	3.2	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
04:00am	0	1.6	0	0	0	3.2	3.2	2.4	2.4	2.4	2.4	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
05:00am	0	0	0	0	0	1.6	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
06:00am	0	0	0	0	0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
07:00am	0	0	0	0	0	1.6	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
08:00am	0	0	0	0	0	1.6	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
09:00am	0	0	0	0	0	1.6	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	2.4	0	0.8	1.6	1.6	1.6	3.2	0.8	
10:00am	0.8	0	2.4	0	0	3.2	2.4	4	4.8	4	4.8	4	3.2	6.4	2.4	4.8	4	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	
11:00pm	0.8	0	1.6	0	0.8	2.4	3.2	4	2.4	4	4.8	0.8	0.8	0.8	6.4	2.4	3.2	1.6	0.8	1.6	3.2	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	3.2	4.8		

Relación de los eventos en los auditorios		Consumo de electricidad por la iluminación al mes (en los auditorios)	
Total de horas al mes	44	Días ocupado al mes	5
Auditorio 1		Consumo de electricidad por la iluminación al mes (en los auditorios)	
Auditorio 2		Consumo de electricidad por la iluminación al mes (en los auditorios)	
Auditorio 1		22.5	501.4
Auditorio 2		32	4

Gráficas propias

Días/mes		AGOSTO																														
Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
12:00am	4	3.2	2.4	2.4	4	1.6	2.4	2.4	3.2	4	4	4	3.2	2.4	3.2	3.2	3.2	0	0.8	0	0	0	0	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2	3.2	0.8		
01:00am	2.4	3.2	1.6	1.6	3.2	2.4	2.4	3.2	4	3.2	4	4	3.2	1.6	2.4	3.2	3.2	0	1.6	0	0	0	0.8	0.8	3.2	3.2	2.4	4.8	2.4			
02:00am	4	2.4	0.8	2.4	1.6	3.2	3.2	3.2	4.8	3.2	3.2	3.2	0.8	1.6	2.4	3.2	0	1.6	2.4	0	0	0	2.4	1.6	3.2	3.2	3.2	1.6	1.6	0.8		
03:00am	4	1.6	1.6	1.6	0	0	2.4	3.2	1.6	1.6	2.4	0	0.8	3.2	3.2	0	1.6	1.6	0	0	0	0	0.8	1.6	2.4	3.2	3.2	1.6	1.6	0.8		
04:00am	0.8	2.4	1.6	0.8	0.8	2.4	0	0	1.6	2.4	0.8	3.2	3.2	0	1.6	3.2	0	2.4	1.6	0	0	0.8	1.6	2.4	3.2	0.8	1.6	1.6	1.6	2.4		
05:00am	0.8	2.4	2.4	1.6	1.6	1.6	0	0	0.8	2.4	3.2	3.2	2.4	0	2.4	2.4	4.8	0	0.8	0	0	0	0	0.8	1.6	2.4	2.4	3.2	0.8	0	2.4	
06:00am	1.6	3.2	3.2	1.6	2.4	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	
07:00am	1.6	3.2	3.2	1.6	2.4	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	
08:00am	1.6	3.2	3.2	1.6	2.4	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	
09:00am	1.6	3.2	3.2	1.6	2.4	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	
10:00am	1.6	3.2	3.2	1.6	2.4	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	2.4	0.8	0.8	2.4	3.2	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	
11:00pm	4.8	1.6	2.4	4	4	1.6	5.6	2.4	4	6.4	4	3.2	4	4	3.2	4	4	0.8	0.8	2.4	0	0	0	0.8	3.2	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	5.6	

Relación de los eventos en los auditorios		Consumo de electricidad por la iluminación al mes (en los auditorios)	
Total de horas al mes	92	Días ocupado al mes	13
Auditorio 1		Consumo de electricidad por la iluminación al mes (en los auditorios)	
Auditorio 2		Consumo de electricidad por la iluminación al mes (en los auditorios)	
Auditorio 1		56	1,053.4
Auditorio 2		10	4

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA-**

Anexo H

Los datos de medición fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas pertenecientes a las siguientes empresas:

- a) Sistema Meteorológico Nacional (Observatorio de Tacubaya)
- b) PEMBU (Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario)
- c) Posgrado de Diseño Industrial, UNAM.

En la siguiente tabla se hace una comparación de los datos de medición correspondientes al viento (velocidad y dirección) por mes a partir del año 2006 al 2015. Podemos observar que la diferencia entre los datos de medición registrados por el Observatorio de Tacubaya con los del PEMBU en los años 2006 al 2009 es mayor a 1.5 m/s, pero del año 2010 al 2015 la diferencia es menor a 1 m/s por lo que se puede considerar al año 2015 como “típico”. En cuanto a la dirección del viento en la mayoría de los años anteriores la dirección dominante es “SW”, mientras que en el año 2015 es “WSW”, por lo que se considera un año “atípico”.

Velocidad promedio del viento por mes (m/s)																										
		2006												2007												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
Observatorio de Tacubaya		3.1		3.1		3.4	3.1	1.7	1.4	3.5				2.5	8.1	2.4	2.9	2.9	2.5	2.5	2.5		3.4	3.1	3.1	
PEMBU		1.4	1.7	1.9	2.2	1.8	1.9					1.3	1.1	1.5				1.8	1.7	1.5	1.2	1.5	1.2	1.5	1.4	1.1
Unidad Posgrado (Diseño Industrial)																										
Datos para la investigación (CCH Sur y Diseño Industrial)																										
Dirección del viento por mes																										
		2006												2007												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
Observatorio de Tacubaya		NNW		NNW		NW	NW	NNW	NW	NW				NW	NNW	NW	W	NW	NW	NW	NW		NNW	NW	NNW	
PEMBU		SW	SW	WSW	WSW	N	N					NW	WSW	SW				SW	WSW	NW	SW	NW	NW	NW	WSW	SW
Unidad Posgrado (Diseño Industrial)																										
Datos para la investigación (CCH Sur y Diseño Industrial)																										
2008																										
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
		2.5	2.8	3.4	3.4									1.6	1.9	2.1	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.1	2	1.9	1.7	
		1.4	1.8	2.1	2.1	2	1.3	1.5	1.4	1.2	1.2	0.5	0.4				2.5	2.1		2.1	1.7	1.3	1.6	1.3	1.3	
2009																										
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	
v		NW	NW	NW	NW									SSW	SSW	SW	S	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	S	
		SW	SW	WSW	SW	WSW	NW	WSW	WSW	NW	NW	SW	SW				WSW	WSW		SW	NW	NW	NW	SW	SW	

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES – EÓLICA-

2010												2011											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
		9.6		2	1.4	1.1		0.9		0.8	1.6	1.8	1.8	2	2		1.9	2.5	2.8		2.5	2.1	1.7
2.7	4	4.1	4.3	4.3	3.9	2.5	3.3	3.3	3.4	2.3	2.6	0.9	0.9	1.2	1.2	1.3	1.3	0.8	1	1	1	0.7	0.7

2010												2011											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
		SE		SE	SE	SE		SE		SE	S	SSE	S	SSW	SSW		SSW	SW	SW		SW	SW	S
SW	SW	SW	SW	N	N	N	N	NW	N	SW	SW	SW	SW	N	N	N	N	NW	N	N	N	SW	SW

2012												2013											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
2.1	2.2	2.3	2.6	2.6	2.4	2.3	2.5	2.6	2.4	2.3	1.9	2	2.3	2.6	2.5								
0.8	0.8	1.6	2.1	2	1.7	1.4	1.4	1.6	1.5	1.5	1.5	1.3	1.8	1.8	1.9	1.7		1.5	1.6	1.2	1.3	1.3	1.4

2012												2013											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	WSW	SW	WSW	WSW	SSW	SSW	SSW	SSW	S								
SW	SW	WSW	WSW	N	N	N	NW	NW	NW	WSW	SW	SW	SW	SW	SW	WSW		SW	NW	NW	NW	WSW	SW

2014												2015											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
2	2	2.5	2.4	2.2		2.3	2.4					2.1	2.2								2.4		
1.4	1.5	1.7	1.6	1.2	0.9	1	1.2	1.2	1	1.1	1.1				2.5	2.2	1.7	1.9	2.3	1.7	2.1		
												2.2	2.2	2.4								1.9	1.3
												2.2	2.2	2.4	2.5	2.2	1.7	1.9	2.3	1.7	2.1	1.9	1.3

2014												2015											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
SSW	S	SSW	SSW	SSW		SSW	SW					SSW	SSW								WSW		
SW	SW	WSW	SW	WSW	NW	WSW	WSW	NW	NW	SW	SW				WSW	WSW	WSW	SW	NW	NW	NW		
												SW	SW	WSW								SW	WNW
												SW	SW	WSW	WSW	WSW	WSW	SW	NW	NW	NW	SW	WNW

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE ENERGÍAS
RENOVABLES – EÓLICA-

COMISION NACIONAL DEL AGUA		SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA UNIDAD DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL 22											
LATITUD: 19 ° 24 ' "		VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE (m/s)										ESTACIÓN: OBS. TACUBAYA	
LONGITUD: 99 ° 12 ' "												ESTADO: D. F.	
ALTITUD: 2308 msnm													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2001	NW ^{2.7}	N ^{3.7}	WNW ^{4.4}	N ^{3.6}	N ^{3.8}	N ^{3.6}	N ^{3.6}	N ^{3.6}	N ^{3.5}	N ^{3.5}	N ^{3.5}	NW ^{3.6}	WNW ^{4.4}
2002	N ^{3.7}	NNW ^{4.1}	N ^{3.7}	N ^{3.9}	N ^{4.0}	N ^{4.0}	NNW ^{3.7}	N ^{3.8}	N ^{3.8}	N ^{5.2}	NW ^{3.1}	NW ^{3.1}	
2003	N ^{3.6}	WSW ^{3.5}	W ^{3.8}	N ^{3.6}	N ^{4.0}	NW ^{3.5}	N ^{4.3}	N ^{3.6}		NW ^{3.5}	NNW ^{3.2}	NW ^{3.4}	
2004	NNW ^{3.1}	WSW ^{3.5}	NW ^{3.7}	N ^{2.9}	N ^{3.7}	NW ^{3.1}	N ^{3.7}	N ^{3.3}	NW ^{3.2}	NW ^{3.2}	NW ^{3.5}	WNW ^{3.5}	
2005	NNW ^{3.1}	NNW ^{3.1}	WSW ^{3.3}		NW ^{3.4}			NW ^{1.4}					
2006	NNW ^{3.1}	NNW ^{3.1}	NNW ^{3.1}		NW ^{3.4}	NW ^{3.1}	NNW ^{1.7}	NW ^{1.4}	NW ^{3.5}				
2007	NW ^{2.5}	NNW ^{3.1}	NW ^{2.4}	W ^{2.9}	NW ^{2.9}	NW ^{2.5}	NW ^{2.5}	NW ^{2.5}		NNW ^{3.4}	NW ^{3.1}	NNW ^{3.1}	
2008	NW ^{2.5}	NW ^{2.8}	NW ^{3.4}	NW ^{3.4}									
2009	SSW ^{1.6}	SSW ^{1.9}	SSW ^{2.1}	S ^{2.2}	S ^{2.1}	SSW ^{2.2}	SSW ^{2.2}	SSW ^{2.2}	SSW ^{2.1}	SSW ^{2.0}	SSW ^{1.9}	S ^{1.7}	
2010			SE ^{2.0}	S ^{2.0}	SE ^{2.0}	SE ^{1.4}	SE ^{1.1}		SE ^{1.2}		SE ^{0.8}	S ^{1.6}	
SUMA													
PROM													

COMISION NACIONAL DEL AGUA		SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA UNIDAD DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL											
LATITUD: ° ' "		VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE (m/s)										ESTACIÓN:	
LONGITUD: ° ' "												ESTADO:	
ALTITUD: msnm													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2011	SE ^{1.5}	S ^{1.8}	SSW ^{2.0}	SSW ^{2.0}		SSW ^{1.9}	SW ^{2.5}	SW ^{2.8}	WSW ^{2.5}	SW ^{2.5}	SW ^{2.1}	S ^{1.7}	
2012	SSW ^{2.1}	SSW ^{2.2}	SSW ^{2.3}	SSW ^{2.6}	SSW ^{2.6}	SSW ^{2.4}	SSW ^{2.3}	SSW ^{2.5}	SSW ^{2.8}	SSW ^{2.4}	SSW ^{2.3}	SSW ^{1.9}	
2013	SSW ^{2.0}	SSW ^{2.3}	SSW ^{2.6}	S ^{2.5}									
2014	SSW ^{2.0}	S ^{2.0}	SSW ^{2.5}	SSW ^{2.4}	SSW ^{2.2}		SSW ^{2.3}	SW ^{2.4}					
2015	SSW ^{2.1}	SSW ^{2.2}					SSW ^{2.3}	SW ^{2.4}		SSW ^{2.4}			
2016						SSW	SSW	SW	SSW	WSW			
2017													
2018													
2019													
2020													
SUMA													
PROM													