

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



Facultad De Ingeniería

Tesis para obtener el título de:
Ingeniero en Energías Renovables

Presenta

Guillermo Plascencia Verdugo

“Comparación del potencial eólico teórico para abastecimiento de un aerogenerador de baja potencia en zona urbana y rural en Mexicali”

Director de tesis:

Dra. Marlene Zamora Machado

Mexicali, Baja California, a 3 de marzo del 2021.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
JUSTIFICACIÓN	8
Objetivo General.....	9
Objetivos específicos	9
1 INTRODUCCIÓN	10
1.1 Características de los sitios de estudio	10
1.2 Condiciones Meteorológicas en Mexicali	11
1.4 Monzón de Norteamérica	13
2 ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO	14
2.2 Energía eólica de baja potencia en México	15
2.3 Puertecitos, Baja California (sistema híbrido, solar eólico y diésel)	16
2.4 La Paz, Baja California Sur (sistema híbrido solar eólico y diésel)	17
2.5 La Rumorosa, Baja California.	17
2.6 Parque Eólico Ojuelos, Jalisco	18
2.7 Parque Eólico, Yucatán.....	19
2.8 Parque eólico en Puebla, Puebla	19
2.9 Parque eólico Coahuila.	20
2.10 Parques eólicos en Oaxaca	21
2.11 Parque eólico Sierra Juárez I, La Rumorosa Baja California.....	22
3 CARACTERÍSTICAS Y MEDICIÓN DEL VIENTO	23
3.2 Sensores que integran una estación Meteorológica:	27
3.3 Localización de las Estaciones Meteorológicas de este estudio.....	28
3.4 Estación meteorológica CONAGUA	30
3.5 Estación meteorológica del Aeropuerto de Mexicali	32
3.6 Fundamentos teóricos del comportamiento del viento	34
3.6.1 Potencia eólica disponible	34
3.6.2 Eficiencia en extracción de potencia eólica	35
3.6.3 Media en la velocidad de viento.....	35
3.6.4 Ley de Potencia	36
3.6.5 Limite BETZ.....	37
3.7 Obtención de datos meteorológicos en los dos sitios	38

3.8	Procedimiento del análisis de la base de datos:	38
4	DATOS DE ESTACIONES	38
4.2	Datos de estación Aeropuerto	38
4.3	Rosa de los vientos	43
4.4	Selección del aerogenerador	43
4.5	Datos de CONAGUA	46
5	RESULTADOS	50
5.2	Rosa de los vientos de las estaciones y comparación de sitios de Mexicali CONAGUA y Aeropuerto	50
5.3	Cálculo de potencia eólica en cada Aerogenerador Vs. Vivienda	57
5.4	Horas de operación	61
5.5	DISCUSIONES	63
6	CONCLUSIONES	65
	Referencias	66
	Anexo I Rosa de los vientos	72
	ANEXO II	84
	Curva de potencia del aerogenerador vs potencia eólica teórica	84

Índice de figuras, gráficas y tablas.

Fig. 1	Tipos de climas en el Estado de Baja California. INEGI 2015.....	10
Fig. 2	Flujo de Vientos en verano, (INE, S. 2000).....	11
Fig. 3	Se detecta la circulación Monzónica con flujo atmosférica. Reyes, S., Douglas, M. W., & Maddox, R. A. (2009).	14
Fig. 4	Recurso eólico en la República Mexicana de baja potencia. (Schwartz, 1995)	16
Fig. 5	Puertecitos, Baja California Nicolle De León (2016)	16
Fig. 6	Sistema híbrido la Paz, Fernández Ribaya, Y. (2012)	17
Fig. 7	Parque eólico La Rumorosa (Comisión Estatal de Energía del Estado de Baja California, 2020).....	18
Fig. 8	Parque eólico Ojuelos, Patricia Romo (2015).	18
Fig. 9	Parque eólico Yucatán. (Energy&comerce agosto 2020)	19
Fig. 10	Parque eólico PIER II, AMBI ACUACORPS. (2012).	20
Fig. 11	Parque eólico Coahuila, Bloomberg (2018).....	20
Fig. 12	Parque eólico Oaxaca II, Acciona, (2016).....	21
Fig. 13	Parque eólico La Ventosa Oaxaca, Burnett, (2016).	22
Fig. 14	Parque Eólico Sierra Juárez, La Rumorosa (La Grieta, 2015).	22
Fig. 15	Obstáculos Pequeños, Saul Osuna (2014).	23
Fig. 16	Estrechos, Saul Osuna (2014).....	24
Fig. 17	Efecto turbulento, INIECO, 2015.....	25
Fig. 18	Turbulencia, Manwell, 2006.....	25

Fig. 19 Proceso de obstáculo INIECO, 2015.....	26
Fig. 20 obstáculos de la estación CONAGUA.....	26
Fig. 21 Obstáculos estación aeropuerto.....	27
Fig. 22 Servicio Meteorológico Nacional (2015).....	27
Fig. 23 Google Earth (2012).....	30
Fig. 24 Tránsito vehicular de estación meteorológica CONAGUA.....	31
Fig. 25 vehículos y árboles de estación meteorológica CONAGUA.....	31
Fig. 26 Google Earth (2008).....	32
Fig. 27 Google Earth (2008).....	32
Fig. 28 Fuente: imagen a botavento de Estación Aeropuerto (2015).....	33
Fig. 29 imagen a barlovento de Estación Aeropuerto (2015).....	33
Fig. 29 Ejemplo imagen de fórmula de potencia eólica, Cálculo sola, José Luis Pueyo Serrano (2016).....	34
Fig. 30 Dónde para condiciones estándar se toma la temperatura del aire como 15 °C, y la densidad del aire como 1.225 kg/m ³ . (Manwell, 2002).....	34
Fig. 31 Turbina Eólica, Aeolos (2015).....	44
Fig. 32 Partes aerogenerador Aeolos (2015).....	45
Fig. 34 Google Earth (2012).....	50
Fig. 35 Enero, Google Earth (2012).....	51
Fig. 36 Febrero, Google Earth (2012).....	51
Fig. 37 Marzo, Google Earth (2012).....	52
Fig. 38 Abril, Google Earth (2012).....	52
Fig. 39 Mayo, Google Earth (2012).....	53
Fig. 40 Junio, Google Earth (2012).....	53
Fig. 41 Julio, Google Earth (2012).....	54
Fig. 42 Agosto, Google Earth (2012).....	54
Fig. 43 Septiembre, Google Earth (2012).....	55
Fig. 44 Octubre, Google Earth (2012).....	55
Fig. 45 Noviembre, Google Earth (2012).....	56
Fig. 46 Diciembre, Google Earth (2012).....	56
Gráfica 1 Crecimiento de la energía eólica a nivel mundial al 2018, Fuente: (GWEC, 2019).....	15
Gráfica 2 Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica y el ángulo de paso de las palas. (López, M. B., Barrero, D., & Garzón, S, 2015).....	37
Gráfica 3 Rosa de los vientos mes Enero Aeropuerto.....	43
Gráfica 4 Rango de velocidad del viento.....	50
Gráfica 5 Energía eléctrica generada en kW en estacion aeropuerto, CONAGUA 2014.....	59
Gráfica 6 de consumo de una vivienda y comparación de un Aerogenerador de 4 kW.....	59
Gráfica 7 Potencia generada por una mini turbina contra el consumo de vivienda en Mexicali.....	61
Gráfica 8 Horas de Operación.....	62
Gráfica 9 Curva de potencia aeropuerto mes de Julio vs potencia teórica.....	62
Gráfica 10 Curva de potencia CONAGUA mes de Julio Vs Potencia teórica.....	63
Tabla 1 Vega, M. A. G., & Santiago, N. L. (2016).....	21
Tabla 2 Localización geográfica de los dos sitios a comparar.....	29
Tabla 3 Valores del coeficiente de fricción. González, J. M. G., Saldivar, V. M. G., González, (2018).....	37
Tabla 4 Datos Aeropuerto de Mexicali en el formato con hora Zulú.....	38

<i>Tabla 5 Datos Aeropuerto de Mexicali formato original.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6 Datos con formato modificado</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7 Visualización de todos los meses analizados.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 8 Visualización de los datos de velocidad de viento en un año completo promedio horario</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 9 Visualización de dirección de viento promedio en un año</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 10 Datos ordenados en formato WRPLOT.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11 Características de Aerogenerador, Enair (2020).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 12 Cálculo de potencia eólica eléctrica.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 13 Visualización de los datos crudos obtenidos de la estación meteorológica de CONAGUA en Mexicali</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 14 Ordenamiento de los datos de CONAGUA</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 15 Datos promedios horarios y diarios.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 16 Datos ordenados para introducirse al WRPLOT</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 17 Consumo en kW por mes de vivienda en Mexicali.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 18 Datos Aeropuerto.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 19 Porcentaje que cubriría la vivienda con datos de CONAGUA 2014</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20 Tabla de porcentaje a cubrir la turbina en aeropuerto a la vivienda estudiada.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 21 Tabla de porcentaje a cubrir la turbina en CONAGUA a la vivienda estudiada.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 22 Horas de Operación.....</i>	<i>61</i>

AGRADECIMIENTOS:

A mi madre Verónica Ma Verdugo Espinoza por ser el pilar más fuerte y por demostrarme siempre su cariño, apoyo incondicional y lo más importante, creer en mí a pesar de las malas decisiones que alguna vez pude tomar, que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores los cuales me han ayudado a salir adelante día con día y por estar a mi lado en todo mi trayecto estudiantil.

A mis Abuelos Guillermo Plascencia Garza e Isabel Padilla que siempre me apoyan y en la carrera siempre estando presente e impulsándome a seguir adelante, recibíendome en horas relevantes en su casa para estudiar.

A mis hermanos por siempre estar a mi lado, darme alegría después de un largo día y por sus consejos.

A mi esposa Vania Zeltzin Briones Santiago y mis dos hijos por siempre darme su apoyo en los momentos más difíciles, por motivarme a seguir creciendo como persona y por brindarme siempre su amor, cariño y comprensión.

A la estación meteorológica del aeropuerto de Mexicali y CONAGUA que me proporcionaron información primordial de esta investigación.

Agradecimientos Especiales:

A mis docentes que me ayudaron a formarme en toda la carrera y por su puesto a mi profesora y asesora de tesis Dra. Marlene Zamora Machado que gracias a ella he llegado a este punto donde podre, presentar mi tesis y muchas gracias por no perder la fe en mí, por su paciencia y dedicación, que me aportaron nuevas experiencias y conocimientos, a pesar de momentos que pensaba que no podría lograr concluir esta prueba que se me presenta para concluir el Título profesional.

RESUMEN

Este estudio se realiza para analizar el comportamiento del viento, y con este poder tener un aerogenerador de baja potencia para reducir costos de energía eléctrica ya que en Mexicali en verano tiene una gran demanda de energía eléctrica, donde una vivienda promedio consume anualmente 8,550 kWh ((Suástegui Macías, J. A., Pérez Tello, C., Campbell, H. E., & Magaña Almaguer, H. D, 2013), con el objetivo de tener una opción más para el ahorro monetario y consumo de energía limpia para el consumidor.

Se analiza datos de dos estaciones meteorológicas de la ciudad de Mexicali, uno en la zona urbana que es la estación de Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con el 93 % de datos y otro en zona rural que es en el Aeropuerto Internacional General Sánchez Taboada de Mexicali (Aeropuerto), en las orillas de la ciudad con la disponibilidad del 71 % de datos, ya que los datos del aeropuerto se tienen sólo algunas horas obtenidas y no el total de 24 horas, teniendo datos en blanco o vacíos y la velocidad del viento está en unidades de medida de nudos. La metodología que se realizó fue la obtención de datos meteorológicos, extrapolación de altura con Ley exponencial de Hellman en la estación de aeropuerto, elaboración de rosas de los vientos, cálculos de potencia teórica para cada sitio, conversión de datos de la estación Aeropuerto al formato de CONAGUA, cálculo de porcentaje que cubriría una turbina de baja potencia a una vivienda de la ciudad, y comparación de ambos sitios.

En la estación meteorológica de CONAGUA se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 8.80 m/s la frecuencia de un 59.6 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 39.1 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases del año 2014.

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en 57.1 % y el 0.5 – 2.10 m/s con 10.4 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el 72 % de datos del año 2014.

Si comparamos los datos de ambas estaciones tenemos resultados como velocidad promedio anual es de 3.18 m/s promedio en aeropuerto con los 71 % de datos y en zona urbana en el edificio de la CONAGUA es de 2.83 m/s. Se tiene una diferencia de 0.35 % de cubrir una vivienda entre ambas estaciones, resaltando que la estación de aeropuerto cuenta con 72 % de datos, se podría indicar que con el 100 % de datos aumentaría el porcentaje a cubrir la vivienda. Con los datos obtenidos el porcentaje a cubrir ambas estaciones es poco casi al 4 %, esto resalta que no es una opción rentable hasta ahora debido al alto costo de los aerogeneradores y bajo los kwh generados.

JUSTIFICACIÓN

Existe una creciente demanda por el uso de las energías renovables a nivel mundial, de acuerdo con el informe BP Energy Outlook sobre la energía renovable, esta se adentra en el sistema energético global más rápido que el de cualquier otro combustible en la historia (Outlook B. E., 2019). El crecimiento de las energías solar y eólica tendrán un incremento acelerado en los próximos años, y conducirán a la reducción de las emisiones de CO₂.

Los países se han comprometido con el Acuerdo Internacional sobre el cambio climático desarrollado en diciembre de 2015, la denominada “Cumbre del clima en París”, en la que 195 países se sumaron al primer pacto global para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Ribera et al., 2015).

Tanto las naciones como los diferentes órganos de gobierno han realizado sus planes de Desarrollo en función de promover las energías renovables y disminuir las emisiones de CO₂ a nivel mundial. En Baja California de acuerdo con el Plan de Desarrollo Económico Sustentable del “Plan Estatal de Desarrollo 2020-2024”, una de las líneas de acción es “Impulsar la utilización de las energías renovables para la infraestructura social comunitaria en las comunidades y zonas que se encuentran en condiciones de vulnerabilidad”, así como el “Implementar fuentes de energía renovables para los subsistemas de universidades tecnológicas y politécnicas”. (Bonilla, 2020).

Existe una necesidad por estudiar el comportamiento del viento para su aprovechamiento energético en la ciudad de Mexicali y las zonas que conforman su Valle. Algunos estudios realizados como un sistema solar híbrido (Torres, 2013) señalan que un sistema con estas características solar y eólico abonaría sólo el 40 % de los requerimientos energéticos a nivel residencial en la ciudad de Mexicali.

Además, existe el estudio de cuantificación del potencial eólico para aplicación agrícola en el Valle de Mexicali por Arredondo (Arredondo, 2016) que concluye que el área de Valle de Mexicali en diferentes puntos estudiados presenta mayor potencial eólico que en la ciudad.

El presente trabajo es para comparar el recurso del viento y sus efectos producidos en dos puntos medidos; uno en la zona Valle de Mexicali que es el Aeropuerto, y el segundo; la estación Meteorológica de Comisión Nacional del Agua ubicada en la ciudad.

Este trabajo aporta información a la comunidad sobre el análisis en estos dos puntos de medición para ser referente para la toma de decisiones futuras sobre los resultados obtenidos del recurso eólico teórico disponible para aerogeneradores de baja potencia y el porcentaje de energía eléctrica que cubriría con ese recurso en la ciudad de Mexicali y su zona rural.

Objetivo General

Cuantificar y analizar el comportamiento en la magnitud y dirección del viento, así como el efecto de los obstáculos en la producción eoloeléctrica de un aerogenerador de baja potencia para la zona urbana de Mexicali, B.C., México y zona rural.

Objetivos específicos

- Obtener datos meteorológicos en sitios y crear una base de datos del viento, así como la adecuación a unidades estándares de la información.
- Calcular la potencia eólica teórica máxima disponible y producción eoloeléctrica de un aerogenerador de baja potencia en los dos sitios.
- Utilizar la demanda eléctrica de una vivienda para obtener el porcentaje que cubriría la generación de potencia eólica teórica del aerogenerador en los dos sitios a evaluar.
- Elaborar rosas de los vientos y realizar mapas para visualizar el comportamiento del viento en cada una de las estaciones.
- Elaborar gráficas del comportamiento eólico mediante curvas de potencia, histogramas y análisis estadístico para realizar la comparación con el consumo eléctrico de una vivienda.
- Extrapolación de los datos meteorológicos del Aeropuerto Internacional General Adolfo Sánchez Taboada de Mexicali de 10 metros a 14 metros sobre el nivel del suelo.

Este trabajo se basa en las mediciones del viento en la superficie del Aeropuerto Internacional de Mexicali y sobre el edificio de Comisión Nacional del agua. Por lo que se realizaron extrapolaciones del punto de medición del aeropuerto para estar a la misma altura que la estación de CONAGUA.

Los puntos analizados representan sólo una parte rural cercana al Aeropuerto de Mexicali, y la otra está en la zona urbana de la ciudad, por lo que representan en particular estos dos puntos. Para trabajos futuros o análisis en sitios específicos, se recomienda lectura en sitio y realizar extrapolaciones a la misma altura.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Características de los sitios de estudio

Mexicali es una ciudad mexicana, capital del Estado de Baja California y cabecera del municipio. Se encuentra localizada en el extremo noroeste del Valle de Mexicali en frontera con Estados Unidos, en las coordenadas Latitud 32° 39' 48" norte, y Longitud 115° 26' 46" Oeste. Desde que se tienen registros, la temperatura mínima extrema en la región ha sido de -8 °C (15 de diciembre de 1972), y la máxima, de 52 °C (28 de julio de 1995), (García, 2012). En Baja California predomina el clima Muy seco (69 %), aunque también se encuentra el Seco (24 %). Las sierras de Juárez y San Pedro Mártir presentan un clima Templado subhúmedo y semifrío (7 %), y el municipio de Mexicali tiene uno de los registros de precipitación total anual más baja de todo el país, pues es menor a los 50 mm. (INEGI 2015). En la Figura 1, se muestran los tipos de clima en Baja California.

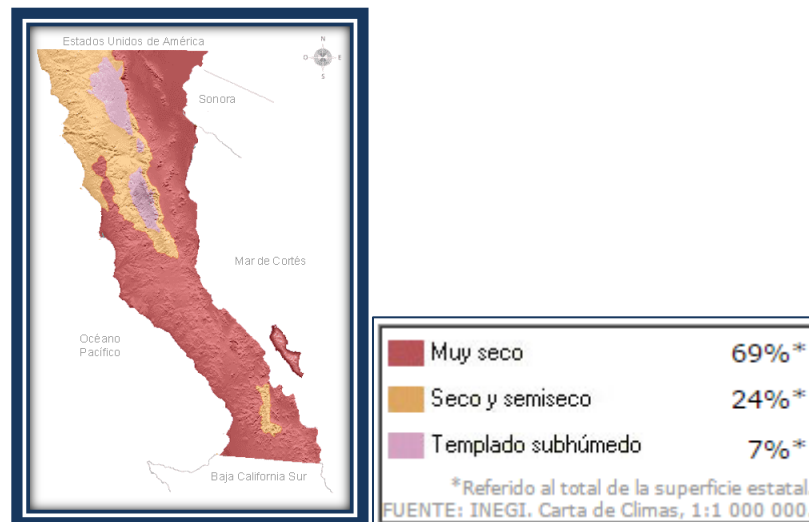


Fig. 1 Tipos de climas en el Estado de Baja California. INEGI 2015

1.2 Condiciones Meteorológicas en Mexicali

La Ciudad de Mexicali presenta una baja precipitación anual, cielos claros y tiempo cálido la mayor parte del año, debido en gran parte al régimen casi estacionario de la celda de alta presión atmosférica que prevalece en la región. Sin embargo, por estar localizada en una zona de transición entre latitudes medias y subtropicales tiene una gran variabilidad climática, ocasionada por los flujos de circulación estacional. A fenómenos como El Niño se le asocia una clara interconexión con inviernos húmedos, siendo el caso opuesto cuando se presenta La Niña. Otra importante característica, que lo diferencia de la zona occidental del Estado de Baja California, es el monzón de verano que con su flujo húmedo puede ocasionar lluvias y tormentas eléctricas, sobre todo en los meses de julio y agosto (INE, S., 2000).

El régimen de vientos que afecta a Mexicali, en general, tiene un comportamiento estacional; desde principios de otoño y hasta mediados de primavera prevalece un flujo de aire marítimo modificado del noroeste. Este flujo está asociado con el campo de la alta presión del Pacífico noroeste, que en esta temporada tiene su máximo desplazamiento hacia el sur. Este flujo del noroeste se ve reforzado cuando un sistema frontal atraviesa la región, ya que se intensifica el gradiente de presión que acompaña a estos sistemas frontales, como se muestran en la Figura 2. (INE, S., 2000).

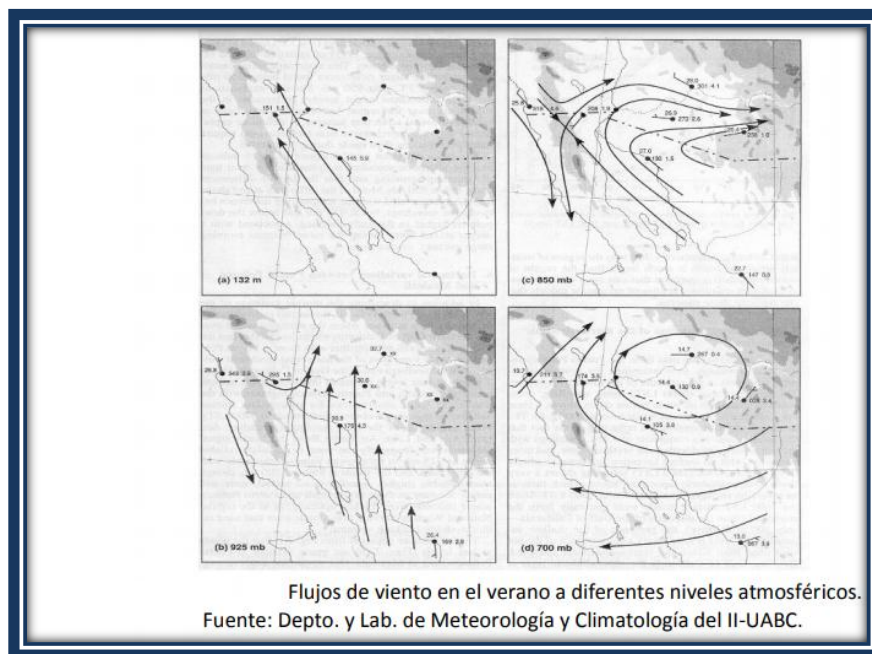


Fig. 2 Flujo de Vientos en verano, (INE, S. 2000).

1.3 Los vientos de Santa Ana

Los vientos de Santa Ana aumentan significativamente la velocidad del viento en cortos períodos de tiempo, y su presencia varía de días a semanas, mientras que el monzón de América del Norte disminuye la velocidad del viento, y se produce durante el verano para un período de meses. Las medidas utilizadas en la investigación son las estaciones automáticas de Comisión Nacional del Agua, en los sitios de Tijuana, La Rumorosa, Ensenada, Mexicali y Bahía de los Ángeles. (Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G, 2014)

En cuatro estaciones meteorológicas en la parte norte de Baja California, es decir, en la estación automática de Tijuana, Ensenada, La Rumorosa y Mexicali, en el período 2007-2008, así como el monitoreo del Monzón de América del Norte para el año de 2007 en las estaciones de Mexicali y Bahía de los Ángeles. (Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G, 2014)

Los niveles de humedad, hay una caída en La Rumorosa de 57 % a 9.5 % y en Mexicali de 34% a 11 %, debido a la sequedad de los Vientos de Santa Ana. (Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G, 2014)

La influencia de los vientos Santa Ana sobre el Océano Pacífico frente a las costas de California y de la Península de Baja California a partir de observaciones del satélite QuikScat. El patrón de vientos que típicamente se dirige hacia el sureste en esta región, fue modificado por los vientos Santa Ana al cambiar su dirección hacia el sur, suroeste y oeste entre el 9 y 12 de febrero de 2002. Los cambios fueron inicialmente notables al sur de California, pero los mayores índices de variación fueron entre los 26°N y 28°N frente a la península, con máximos dentro del Golfo de California, sobre todo en la parte norte. Su máxima extensión con dirección al oeste desde la costa fue el 11 de febrero, cuando alcanzó los 32°N y 125°W ó ~700 km; sin embargo, se extendieron hacia el suroeste aproximadamente hasta los 25°N y 124°W ó ~1000 km. Se observó que la orografía de la Península de Baja California tiene un papel importante en el control del paso de los vientos del Golfo de California hacia el Pacífico, causando en varias localidades lengüetas de arena y polvo sobre el océano. (Castro, R., Parés-Sierra, A., & Marinone, S. G, 2003)

1.4 Monzón de Norteamérica

La presencia del Monzón de Norte América, en Bahía de los Ángeles comienza su influencia de junio a julio, provenientes de los cuadrantes este, con una mayor tasa de ocurrencia desde el este en el mes de agosto. Y a Mexicali, la ocurrencia de viento viene del suroeste, soplando completamente en esta dirección en los meses de julio y agosto. (Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G,2014)

En Bahía de los Ángeles, el mejor mes para la producción de energía eólica es mayo con un promedio velocidad de 7.3 m / s, y para Mexicali es abril con 3.69 m / s. La aparición del Monzón es en el verano. (Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G,2014)

Durante el verano del hemisferio norte de 1996 efectuó un experimento científico para investigar la circulación atmosférica, Las tormentas con directivas de meso escala y la precipitación asociada al monzón del suroeste de norte américa. Durante el mismo participaron distintas instituciones de investigación y universidades de ambos países. La fase operativa se desarrolló en los estados de baja california, Baja california sur, Sinaloa, sonora, chihuahua, durango, Coahuila y Arizona. Los resultados preliminares, Hasta ahora obtenidos identifican a la sierra madre occidental, Particularmente pródiga en la formación del sistema conectivo de meso escala y en la generación de lluvia Durante el verano, Como un centro de convergencia de las masas de aire húmedo originadas en los trópicos de México y el caribe. La vertiente del pacífico y del golfo de california muestran una mayor precipitación sobre la sierra madre occidental en comparación con la precipitación observada en la vertiente hacia chihuahua y el golfo de México, Sugiriendo que la circulación monte sónica sobre el noroeste de México tiene un mayor aporte de humedad del pacífico que del atlántico.

Las primeras explicaciones sobre la fuente de origen de la lluvia en el noroeste de México y el suroeste de los estados unidos se asociaron al flujo horizontal del aire proveniente del golfo de México, Característico De los meses de verano. Esta idea ha ido perdiendo fuerza conforme mejores y más bancos de datos de la región de estudios Se han logrado.

Aunque es ampliamente aceptado que la humedad sobre el noroeste de México y Arizona tiene su origen en los trópicos, No se ha logrado cuantificar el aporte de cada fuente. Esto se debe principalmente a los escasos de observación y la gran variabilidad de los mecanismos que controla el clima, en la Figura 3, se detecta la circulación Monzónica de acuerdo a Reyes. (Reyes, S., Douglas, M. W., & Maddox, R. A. 2009)

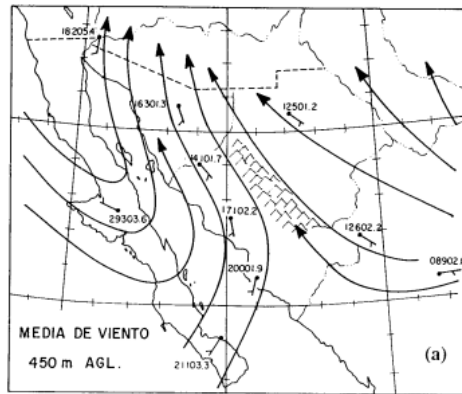


Fig. 3 Se detecta la circulación Monzónica con flujo atmosférica. Reyes, S., Douglas, M. W., & Maddox, R. A. (2009).

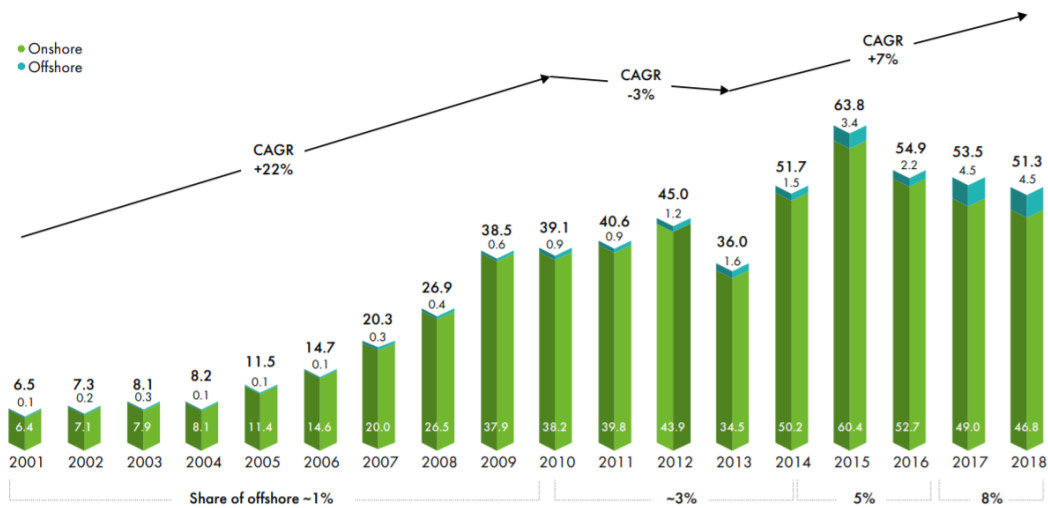
2 ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

La energía eólica está en crecimiento mundial, de acelerarse la instalación de parques eólicos, la comunidad nacional e internacional podría alcanzar su objetivo de limitar el aumento del calentamiento global a 2 grados centígrados. Un análisis reciente del Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC, por sus siglas en inglés) muestra que el año 2018 como muestra la gráfica 1.11 se añadió una capacidad considerable de energía eólica en África, Medio Oeste, Latinoamérica y Sureste de Asia, mayoritariamente. La industria eólica costa “mar adentro” europea ya ha experimentado un crecimiento estable con 4.5 GW instalados ese mismo año. (GLOBAL GWEC, 2019)

Actualmente, los principales mercados mundiales son China, Estados Unidos y Alemania, tres de las principales economías mundiales que con sus políticas en energías limpias están logrando importantes resultados energéticos. (GLOBAL GWEC, 2019)

El año 2015 fue récord de instalaciones de energía eólica, encabezadas por China, Estados Unidos y Alemania. Según los datos del GWEC, en 2015 se instalaron mundialmente 63,8 Gigawatts (GW) y se invirtieron 329,000 millones de dólares. Sólo China añadió 145, 362 MW de las nuevas infraestructuras, mientras que Estados Unidos 74, 471 MW y Alemania 44, 947 MW. (GLOBAL GWEC, 2015). De acuerdo con las últimas cifras del Consejo Global de Energía Eólica (GWEC por sus siglas en inglés), en 2019 se instalaron más de 13GW de capacidad instalada en América, lo que suma una capacidad total de 148GW en todo el continente. México incorporó cerca de 1,300 MW de nueva capacidad eólica convirtiéndose en uno de los líderes junto con Estados Unidos, Argentina y Brasil como se observa en la Gráfica 1. (GLOBAL GWEC, 2019)

Historic development of new installations
GW



Gráfica 1 Crecimiento de la energía eólica a nivel mundial al 2018, Fuente: (GWEC, 2019).

En México ya es común escuchar sobre la energía eólica, ya que es la renovable más conocida en el país hasta ahora. Se sabe que junto con Brasil son los líderes del sector en América Latina. (Ángeles Aguirre, 2012)

2.2 Energía eólica de baja potencia en México

En México existen otras regiones con vientos técnicamente aprovechables para la generación de energía eléctrica eólica, por ejemplo; algunas partes de los estados de Baja California, Baja California Sur, Tamaulipas, Veracruz, Zacatecas, Hidalgo, Yucatán, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo, entre otros. Estos son algunos ejemplos del aprovechamiento de la energía eólica de baja potencia que podría ser aprovechada en México como se observa. Figura 4 (Eléctrica del Valle de México, 2011)

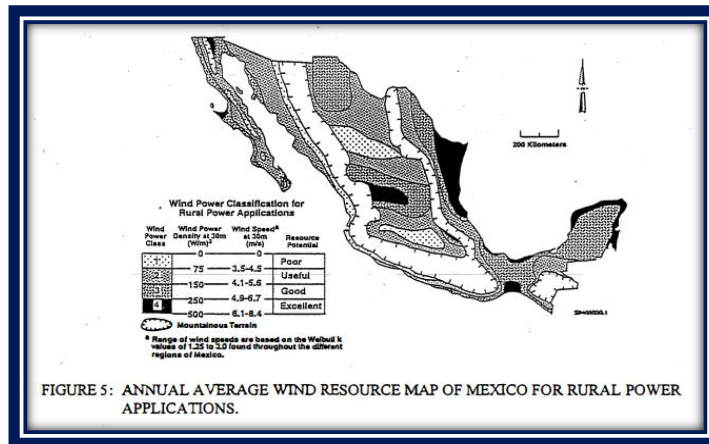


Fig. 4 Recurso eólico en la República Mexicana de baja potencia. (Schwartz, 1995)

2.3 Puertecitos, Baja California (sistema híbrido, solar eólico y diésel)

La micro red para evaluar cuenta con un sistema fotovoltaico, eólico, banco de baterías y generador diésel. El sistema de generación Fotovoltaico-Eólico será utilizado como generador principal, el sistema de almacenamiento en baterías nos ayudara a gestionar la energía, disminuyendo los problemas debidos a la intermitencia de nuestras fuentes renovables; solo cuando no se pueda suministrar energía por el sistema fotovoltaico, eólico o banco de baterías es cuando entrara como respaldo el generador diésel a abastecer el déficit de demanda.

El sistema fotovoltaico tiene una capacidad de 55.2 kW, se cuenta con un aerogenerador de 5 kW, un banco de baterías de 522 kWh de almacenamiento y un generador diésel de 75 kVA. El proyecto fue financiado por el fondo de sustentabilidad energética SENER-CONACYT siendo destinados \$4'012,610.00 pesos a la construcción de la micro red del poblado de puertecitos. (con generación Distribuida, M., Soto, R. C., Limón, N. V., San Pedro, E. G., & Aguilar, J. A.) en la Figura 5 se muestra una foto del proyecto.



Fig. 5 Puertecitos, Baja California Nicolle De León (2016)

2.4 La Paz, Baja California Sur (sistema híbrido solar eólico y diésel)

El Estado mexicano de Baja California Sur cuenta con importantes recursos eólicos y solares para la generación de electricidad y tiene un sistema híbrido (Solar-Eólico) con apoyo de gas natural para la generación de 3.6 MW con conexión a la red, está constituida por un subsistema solar de 1.2 MW y otro eólico de 1.8 MW y una turbina de gas de 0.6 MW que consume gas natural; esta generación se utiliza para el suministro básico.

La Figura 6, muestra una foto muestra una foto de un sistema híbrido. (Fernández Ribaya, Y. 2012).



Fig. 6 Sistema híbrido la Paz, Fernández Ribaya, Y. (2012)

2.5 La Rumorosa, Baja California.

Está ubicado en el poblado la Rumorosa, con una extensión de más de 42 hectáreas, propiedad del Gobierno del Estado como muestra la figura 7.

La inversión del Parque Eólico es de 26.1 MUSD, contando con una capacidad instalada de 10 MW, con una generación estimada promedio anual de 27,156 MWh, que se utilizarán para el alumbrado público, beneficiando a 35 mil familias, aproximadamente, se muestra una imagen de los cinco aerogeneradores del Parque Eólico la Rumorosa I en la Figura 7. (Machado, M. Z., Sánchez, E. L., & ARISTA, A. A. L,2010).

Con este tipo de generación de energía se abatirán en Baja California, anualmente, 17 mil Toneladas de emisiones CO₂ a la atmósfera. (Machado, M. Z., Sánchez, E. L., & ARISTA, A. A. L, 2010)

Algunos de sus beneficios:

- Apoyo de 1,100 pesos al Año a 35,000 Familias del Programa Tu Energía.
- Abastecimiento del 80% del consumo eléctrico del Alumbrado Público de Mexicali B.C. (CEE, 2020).



Fig. 7 Parque eólico La Rumorosa (Comisión Estatal de Energía del Estado de Baja California, 2020).

2.6 Parque Eólico Ojuelos, Jalisco

Con 28 aerogeneradores y una capacidad aproximada de 50 MW. La segunda etapa consiste en un parque eólico con capacidad de generación de 64 MW. Actualmente, Grupo Dragón le da dos usos a la energía que genera; uno es para las empresas mismas de Grupo Salinas y otra parte es para vender energía al gobierno del estado para distintas secretarías y el SIAPA (Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado). (Patricia Romo, 2015). [Fig.8]



Fig. 8 Parque eólico Ojuelos, Patricia Romo (2015).

2.7 Parque Eólico, Yucatán

Se inauguró el Parque Eólico Progreso en Yucatán (Figura 9), que contempló una inversión de 155 millones de dólares. La obra verde cuenta con 90 MW de capacidad instalada de generación de energía eléctrica, que producirá más de 303 GW/H al año.

El proyecto fue desarrollado de manera conjunta por En visión Energy, el desarrollador mexicano Vive Energía y el grupo Avancia.

El parque eólico se alimentará por 36 turbinas eólicas terrestres de 2.5 MW; tienen una altura de cubo de 120 metros y un diámetro de rotor de 110 metros. (Energy&commerce, 2020)



Fig. 9 Parque eólico Yucatán. (Energy&commerce agosto 2020)

2.8 Parque eólico en Puebla, Puebla

Al oriente del estado de Puebla, en la frontera con el estado de Veracruz, se encuentra el municipio de Esperanza. Dentro de este municipio se encuentra el Parque Industrial de Energía Renovable (PIER II, figura 10), perteneciente a Iberdrola México, iniciando actividades recientemente en 2019 y siendo el más grande del estado con una producción de 66 MW. (Grupo Iberdrola, 2018) Esta empresa ya tiene experiencia dentro de Puebla, ya que esta planta es el segundo parque eólico que posee dentro del estado, el primero fue llamado PIER y se encuentra a pocos kilómetros, en el municipio de Cañada Morelos. Ambas instalaciones tienen el propósito de alimentar la energía demandada por las fábricas que se encuentran aledañas; en este caso se espera que satisfaga en un 75 % la demanda de energía de la empresa Modelo. (Cervantes Ramos, G, 2019)



Fig. 10 Parque eólico PIER II, AMBI ACUACORPS. (2012).

2.9 Parque eólico Coahuila.

Coahuila, a su vez, cuenta con un parque eólico en operación “Eólica de Coahuila” ubicado en el municipio de General Cepeda con una capacidad de 200 MW (EDPR, 2018), aunado a esto, uno más se encuentra en fase de construcción al norte del estado, ubicado en el municipio de Ciudad Acuña denominado “Amistad” con una producción de 200 MW, así como dos más denominados “Carabina I” y “Carabina II” mismos que se encuentran en fase de obtención de permisos. (Guerrero, F. G. R,2017) [Fig. 11]



Fig. 11 Parque eólico Coahuila, Bloomberg (2018).

2.10 Parques eólicos en Oaxaca

De acuerdo a la Asociación Mexicana de Energía Eólica, Oaxaca tiene 21 parques Eólicos que muestran la tabla 1, la Fig. 12 y 13, muestran imágenes de dos parques.

Proyecto	Estado	Modalidad	Fabricante	Operación	MW*
La Venta	Operación	OPF**	Vestas	1994	1.57
La Venta II	Operación	OPF	Gamesa	2006	83.30
La Ventosa	Operación	A***	Gamesa	2008	30.60
La Ventosa II	Operación	A	Gamesa	2008	49.30
Eurus, 1st Phase	Operación	A	Acciona	2009	37.50
Eurus, 2st Phase	Operación	A	Acciona	2010	212.50
Bii Nee Stipa I	Operación	A	Gamesa	2010	26.35
La Mata-La Ventosa	Operación	A	Clipper	2010	67.50
Fuerza Eólica del Istmo	Operación	A	Clipper	2011	50.00
Oaxaca II, III y IV	Operación	PPE****	Acciona	2012	306.00
La Venta III	Operación	PPE	Gamesa	2012	102.85
Oaxaca I	Operación	PPE	Vestas	2012	102.00
Fuerza Eólica del Istmo	Operación	A	Clipper	2012	30.00
Bii Nee Stipa II	Operación	A	Gamesa	2012	74.00
Bii Nee Stipa III	Operación	A	Gamesa	2012	70.00
Piedra Larga	Operación	A	Gamesa	2012	90.00
Bii Stinú	Operación	A	Gamesa	2012	164.00
La Ventosa III	Operación	A	Gamesa	2013	20.00
Eoliatec del Pacífico	Operación	A	Gamesa	2013	160.00
Bii Nee Stipa II Fase III El Retiro	Operación	A	Gamesa	2013	74.00

*MEGAVATIOS **OBRA PÚBLICA FINANCIADA ***AUTOABASTECIMIENTO. ****PRODUCTOR EXTERNO DE ENERGÍA
FUENTE: ASOCIACIÓN MEXICANA DE ENERGÍA EÓLICA (AMDEE) EN WWW.AMDEE.ORG., CONSULTADA EL 11 DE SEPTIEMBRE DE 2014.

Tabla 1 Vega, M. A. G., & Santiago, N. L. (2016).



Fig. 12 Parque eólico Oaxaca II, Acciona, (2016).



Fig. 13 Parque eólico La Ventosa Oaxaca, Burnett, (2016).

2.11 Parque eólico Sierra Juárez I, La Rumorosa Baja California.

El Proyecto Eólico Sierra Juárez que se observa en figura 14, la construcción es la única razón por la que esta línea de transmisión se propone - estaría ubicado cerca de la ciudad de La Rumorosa en Baja California, México, con algunas torres a menos de una milla de la frontera con EE. UU. La construcción procedería en fases, con 52 aerogeneradores que proporcionan aproximadamente 130 MW de potencia en la Fase I, y las fases posteriores eventualmente proporcionando un total de 1.250 MW. Cada turbina tendría hasta 431 pies de altura (incluida la pala), y alrededor del treinta por ciento de ellas estaría iluminada. (En comparación, la Torre California en Balboa de San Diego El parque tiene solo 198 pies). El Proyecto Eólico ESJ también requeriría la construcción de caminos de acceso, subestaciones eléctricas y líneas de transmisión desde esas subestaciones hasta la frontera entre Estados Unidos y México. (VOLKER, S. C., HARRIS, J. A., VOLKER, 2012)

El Parque Eólico Sierra Juárez, situado en la localidad La Rumorosa (municipio de Tecate, estado de Baja California, México), está compuesto por 47 aerogeneradores VESTAS de 3,3 MW, y su potencia se evacúa en su totalidad hacia la Southwest Powerlink de EEUU. La construcción del parque eólico Sierra Juárez I (nombre que ya sugiere una futura ampliación) dio pie a la inevitable necesidad de construir una infraestructura de evacuación de la energía generada. Para ello se diseñaron, con mayor o menor rigor, siete circuitos de 34,5 kV que recogían energía de los aerogeneradores y la transportaban hasta la subestación de Sierra Juárez, de donde parte una línea de 220 kV hacia los Estados Unidos. (Clavaguera López-Puigcerver, J. M, 2018).

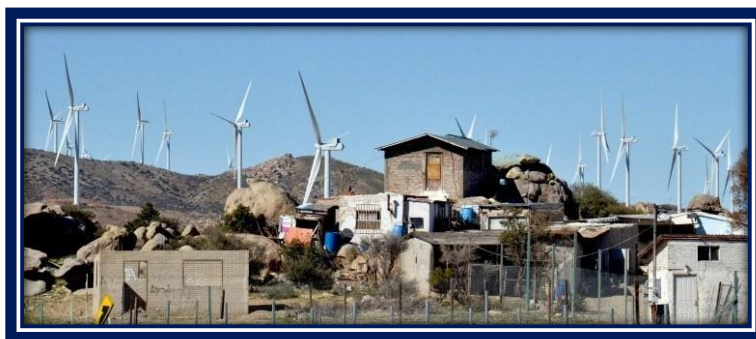


Fig. 14 Parque Eólico Sierra Juárez, La Rumorosa (La Grieta, 2015).

3 CARACTERÍSTICAS Y MEDICIÓN DEL VIENTO

En este trabajo se analizan dos sitios en condiciones orográficas distintas, uno en la zona urbana y el otro en la zona rural del Valle de Mexicali. Las diferencias por obstáculos en cada sitio van a ser distintos. A continuación, se mencionan los efectos causados por los obstáculos de diversos autores.

A) Efecto del terreno en las características del viento.

Los obstáculos se pueden dividir en dos grandes grupos:

- A) Los pequeños, que pueden ser rodeados por el viento.
- B) Los estrechos de cierta magnitud, que no pueden ser rodeados por el viento.

B) Obstáculos pequeños

Los obstáculos aislados y la anchura que producen tan sólo alteraciones en la dirección del viento (los grandes edificios, peñones, islotes y montañas de no más de 100 km. de anchura), ya que el viento rodea el obstáculo. En este caso las alteraciones son muy locales pero notables en la dirección e intensidad del viento. A sotavento, justo detrás del obstáculo aparece una zona muy pequeña en la que el viento experimenta una desviación de aproximadamente 90°. Más adelante, aparece otra, de forma cónica, en la que existen muchas turbulencias, con giros de hasta 180° (fig. 15) Cuanto más alto sea el obstáculo, más longitud tendrá la zona cónica de perturbaciones.

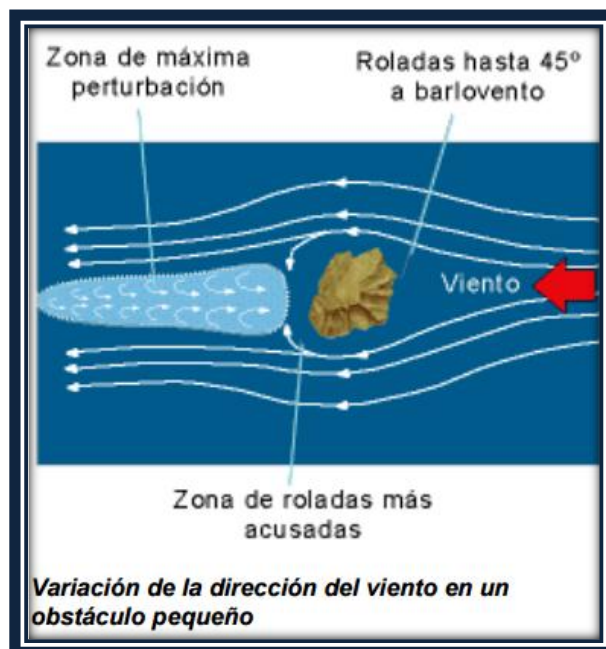


Fig. 15 Obstáculos Pequeños, Saul Osuna (2014).

C) Los estrechos de cierta magnitud, que no pueden ser rodeados por el viento.

En los estrechos hay que considerar dos casos:

- a) El viento no circula en la dirección del canal. Aquí interviene la anchura del estrecho. Si es de menos de 40 km no se producen importantes variaciones en la dirección del viento. Si la anchura es superior a 40 km, puede llegar a desviar significativamente el flujo del aire, canalizándolo a través de él, en función de la altura del relieve de las costas.
- b) El viento circula en la dirección del canal. En este caso, se produce una aceleración que es función de la forma del estrechamiento (fig.16) si éste es pronunciado, el aire rebosa mediante corrientes ascendentes en el punto de máximo estrechamiento, formándose perturbaciones en forma de torbellinos a sotavento (fig. 16). En el caso de estrechos relativamente anchos se produce una alteración isobárica importante debido a la fuerte canalización del viento a lo largo del estrecho.

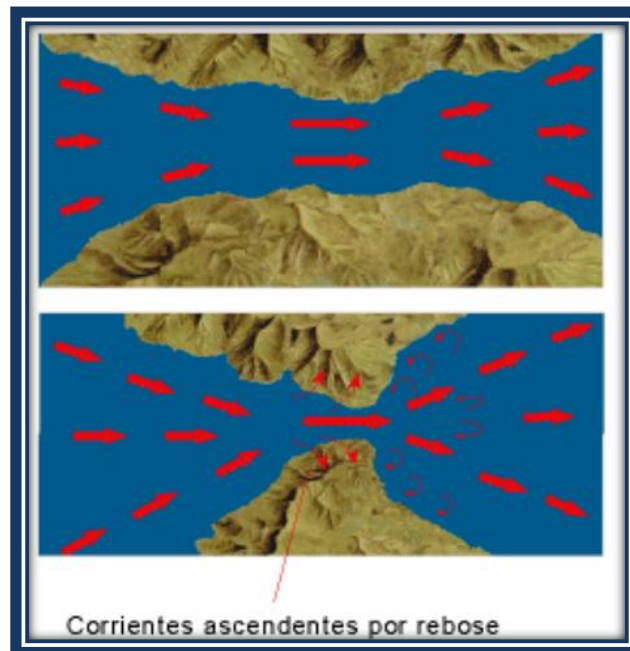


Fig. 16 Estrechos, Saul Osuna (2014).

En la figura 17 se presenta el efecto que sobre el viento origina un obstáculo no aerodinámico. La zona turbulencia superior al obstáculo puede alcanzar una altura de hasta tres veces la del obstáculo. Estas turbulencias serán mayores en la parte posterior del obstáculo (INIECO, 2015). En la Figura 18, se muestran los efectos de alta turbulencia, pasando un obstáculo artificial. (Manwell, 2006)

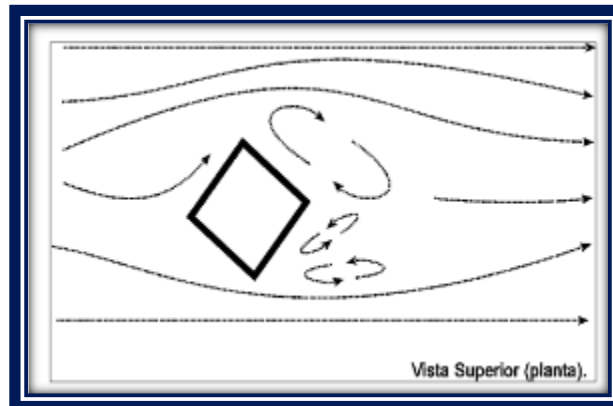


Fig. 17 Efecto turbulento, INIECO, 2015

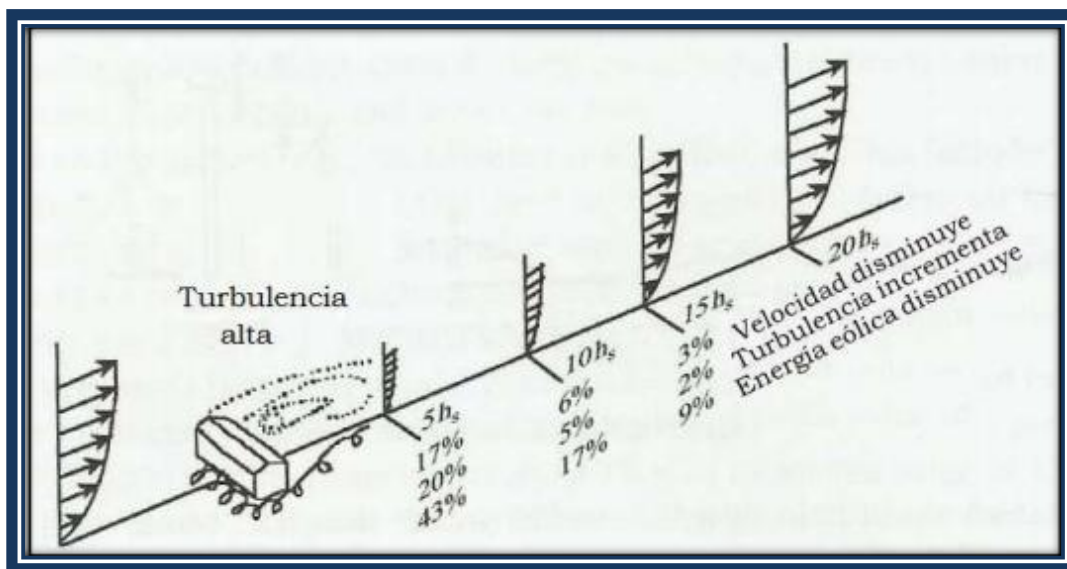


Fig. 18 Turbulencia, Manwell, 2006

La orografía del lugar es muy importante para determinar la velocidad del viento en un punto localizado. El aire que se desplaza en la proximidad de la corteza terrestre debe sortear los innumerables obstáculos que se encuentra a su paso, alternando en mayor o menor medida las líneas de corriente y sus velocidades correspondientes, (Cádiz, 1984).

En la Figura 19, se observa los tres tipos de flujos, desde laminar hasta turbulento en el viento.

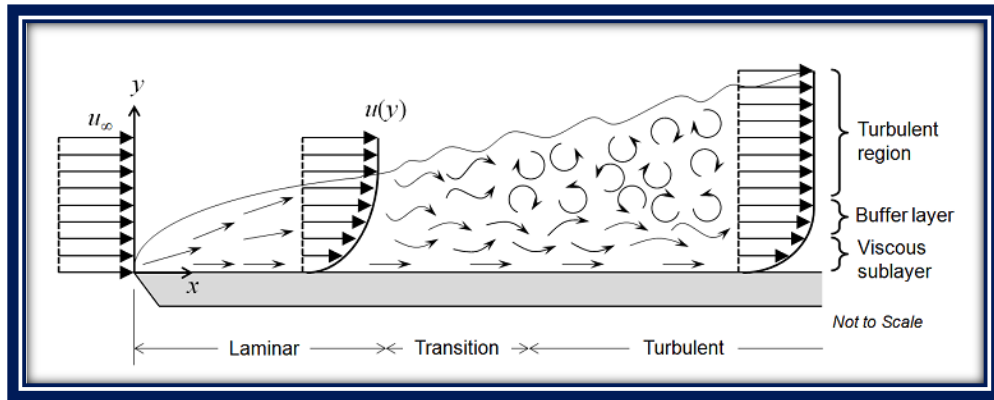


Fig. 19 Proceso de obstáculo INIECO, 2015

Visualización de los dos sitios de estudio

En cuanto al estudio de los obstáculos, tales como edificios, árboles, o terrenos accidentados provocan disminución de la velocidad del viento y aumento de las turbulencias. La presencia de obstáculos en el radio de un kilómetro en estación CONAGUA (fig. 20) se deberá tener en cuenta con especial atención, sobre todo si se encuentra la dirección predominante del viento, así mismo, en la figura 21 se observa el radio de obstáculos de la estación aeropuerto.

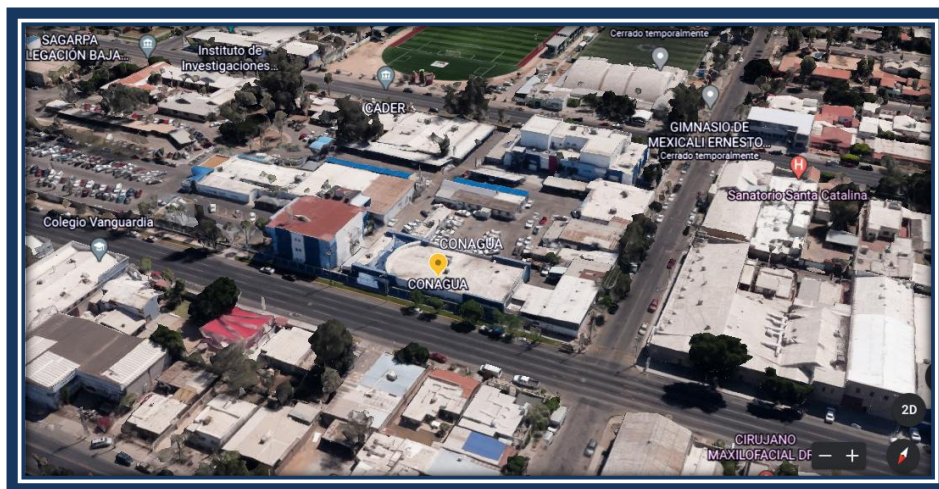


Fig. 20 obstáculos de la estación CONAGUA



Fig. 21 Obstáculos estación aeropuerto.

3.2 Sensores que integran una estación Meteorológica:

- *Velocidad del viento, m/s*
- *Dirección del viento, 0° - 360°*
- *Presión atmosférica, hPa*
- *Temperatura, °C*
- *Humedad relativa, %*
- *Radiación solar, W/m²*
- *Precipitación, mm*

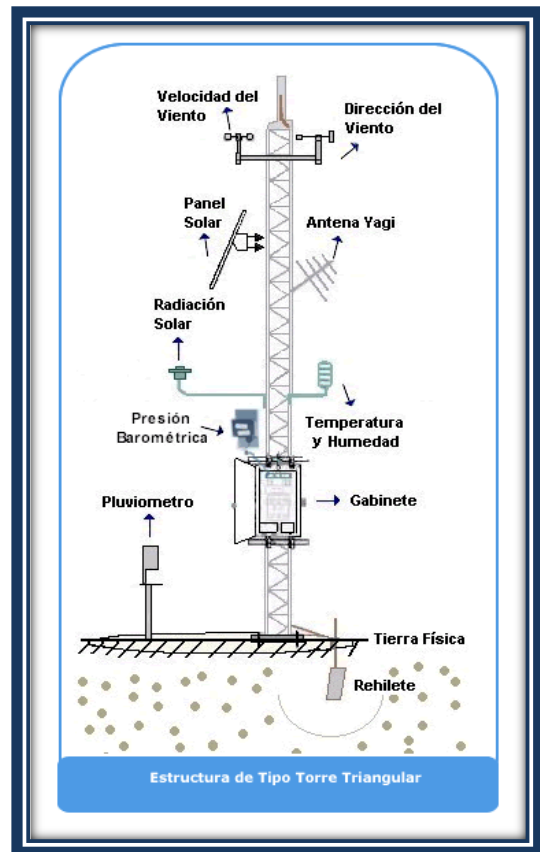


Fig. 22 Servicio Meteorológico Nacional (2015)

3.3 Localización de las Estaciones Meteorológicas de este estudio

Para este trabajo se utilizaron datos de dos estaciones meteorológicas en la Tabla 2, se muestra las características:

De acuerdo con los datos proporcionados por el personal de ambas instituciones Aeropuerto Internacional de Mexicali y CONAGUA, las alturas sobre el nivel del suelo (m.s.n.s.) son 10 metros para el sitio de medición del Aeropuerto y 14 metros para el sitio de CONAGUA, por lo que se realizará la extrapolación de datos del sitio de 10 metros, para tener la misma altura sobre el nivel del suelo.

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas con la finalidad de hacer predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos o estudios climáticos. Normalmente, una estación convencional muestra medidas de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad del viento o insolación, aunque existen aplicaciones específicas dónde pueden medir nubosidad, magnetismo ambiental u otras variables. (Gutiérrez Fernández, C. 2007).

De acuerdo con el REGLAMENTO DEL SERVICIO METEOROLÓGICO AERONÁUTICO 2014 (S.C.T. 2014) los Requisitos que deben llenar los informes meteorológicos aeronáuticos, estipulados en el:

Artículo 7. Los informes meteorológicos de aerovías deberán formularse con frecuencia mínima de uno por hora y contendrá cada uno de ellos los datos siguientes:

- a) Sigla de la estación,
- b) Fecha y hora de la observación,
- c) Clasificación,
- d) Techo,
- e) Condiciones de cielo,
- f) Visibilidad,
- g) Tiempo presente y/u obstrucciones a la visión,
- h) Temperaturas ambiente y de punto de rocío,
- i) Dirección, velocidad y características de viento,
- j) Corrección de altímetro,
- k) Tipo de nubes bajas, medias y altas,
- l) Dirección del movimiento de las nubes, medias altas o bajas.

Artículo 8. Los informes sinópticos deberán hacerse con frecuencia mínima de cada seis horas y se agregarán a ellos, además de los datos especificados para el informe de aerovías, los siguientes.

- a) Presión barométrica reducida a nivel del mar,
- b) Cantidad de precipitación,
- c) Temperatura máxima o mínima,
- d) Tendencia barométrica,
- e) Valor del cambio bórico,
- f) Humedad relativa.

Artículo 9. Los informes de vientos superiores deberán elaborarse con frecuencias mínimas de uno cada seis horas incluyendo en cada uno de los siguientes datos

- a) Sigla de la estación,
- b) Fecha y hora de la observación,
- c) Dirección y velocidad del viento en cada uno de los niveles especificados, en el apéndice respectivo.

En la Tabla 2, se enlistan los datos geográficos de ambas estaciones, una perteneciente a Comisión Nacional del Agua, y la otra al Aeropuerto Internacional de Mexicali. Los años a evaluar y comparar para los dos sitios son del 2014.

La codificación y orden de los elementos de estos informes, así como las indicaciones para su observación y estadística, e especifican en los apéndices correspondientes.

Estación	Ubicación Geográfica	Metros sobre el nivel del suelo (msns)	Metros a nivel del mar (msnm)	Periodo de evaluación
CONAGUA	Latitud: 32°39'57.09"N Longitud: 115°27'30.62"O	14	4	2014
Aeropuerto	Latitud: 32°37'50.52"N Longitud: 115°27'30.62"O	10	22.5	2014

Tabla 2 Localización geográfica de los dos sitios a comparar

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional una estación meteorológica es un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática (sobre todo en forma numérica). (CONAGUA 2014-2017)

El mismo Servicio Meteorológico Nacional en su página dice que una Estación Meteorológica Automática, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas.

La hora que se utiliza para registrar los datos es el horario TUC ó UTC (Tiempo Universal Coordinado). El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso). (CONAGUA 2014-2017)

3.4 Estación meteorológica CONAGUA

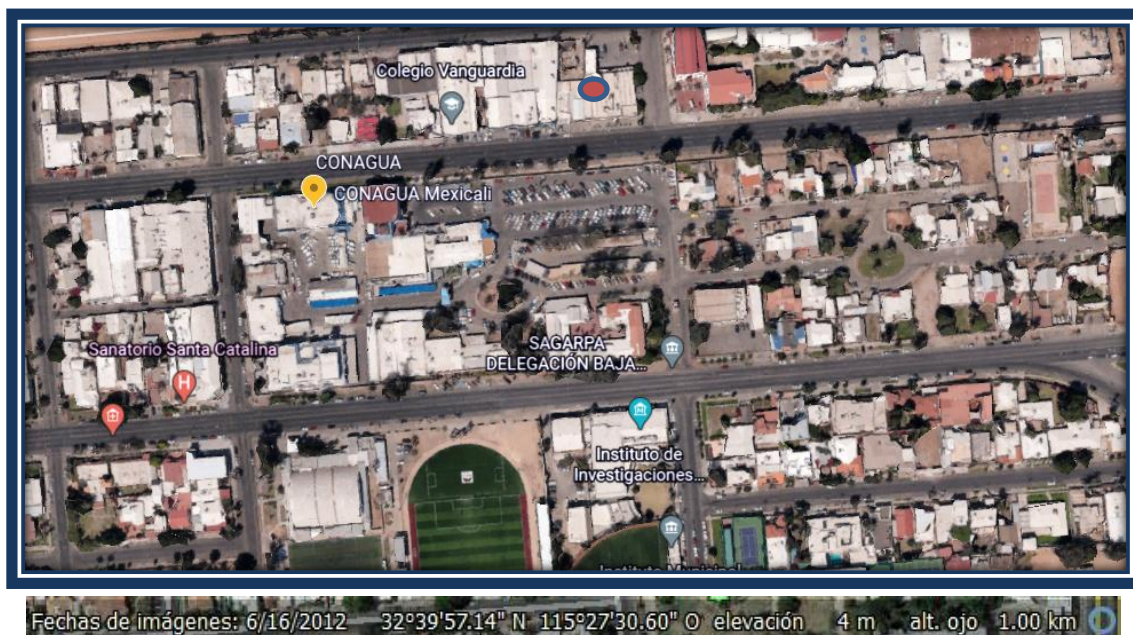


Fig. 23 Google Earth (2012)

La ubicación de la estación meteorológica CONAGUA se puede observar que se encuentra en zona urbana (fig. 23), y se encuentra ubicada en las coordenadas: Latitud $32^{\circ}39'57.09''$ norte, y Longitud: $115^{\circ}27'30.62''$ este. Además, en la imagen satelital las figuras 24 y 25, se observa cómo hay edificios, locales, arboles tránsito de autos a su alrededor.



Fig. 24 Tránsito vehicular de estación meteorológica CONAGUA.



Fig. 25 vehículos y árboles de estación meteorológica CONAGUA.

3.5 Estación meteorológica del Aeropuerto de Mexicali



Fig. 26 Google Earth (2008)

En la estación del Aeropuerto se encuentra en las coordenadas Latitud $32^{\circ}37'50.52''$ norte, y Longitud $115^{\circ}27'30.62''$ oeste. En la Figura 26 se observa la ubicación del Aeropuerto. En la Figura 28 y 29, se muestra la estación meteorológica, que está en una zona despejada sin obstrucción, sólo suelo de tierra y pequeños arbustos de desierto.



Fig. 27 Google Earth (2008)



Fig. 28 Fuente: imagen a botavento de Estación Aeropuerto (2015).

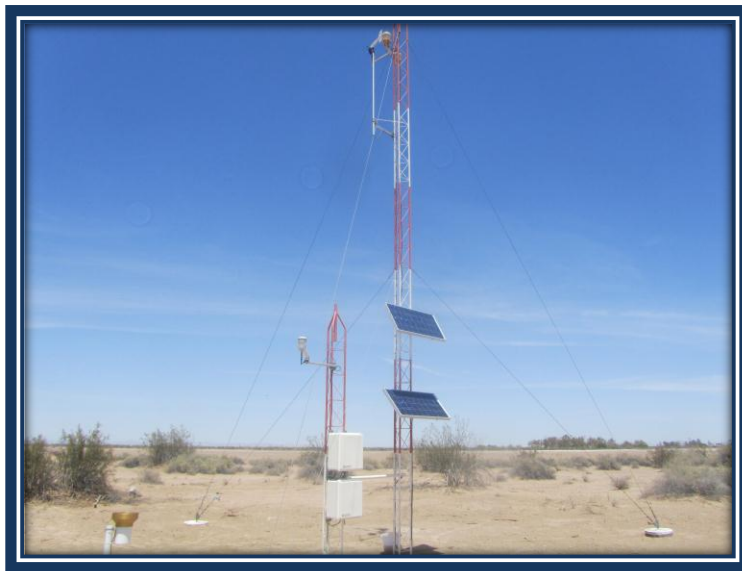


Fig. 29 imagen a barlovento de Estación Aeropuerto (2015).

3.6 Fundamentos teóricos del comportamiento del viento

3.6.1 Potencia eólica disponible

Se calculará la potencia teórica de un aerogenerador en los sitios a evaluar mediante la ecuación de potencia eólica disponible.

Tomando de referencia un disco actuador, y cierta cantidad de flujo másico en función de la densidad del aire, se obtiene que la densidad de potencia eólica está en función de:

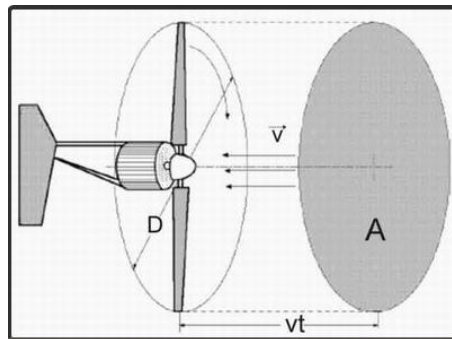


Fig. 30 Ejemplo imagen de fórmula de potencia eólica, Cálculo sola, José Luis Pueyo Serrano (2016).

$$P/A = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (1)$$

Ecuación # 1

P = Potencia en W/m²

ρ = densidad del viento en Kg/m³ (1.225 Kg/m³ a nivel del mar y 1 atmósfera de presión)

A = superficie de viento que incide en las aspas en m²

V = velocidad el viento en m/s

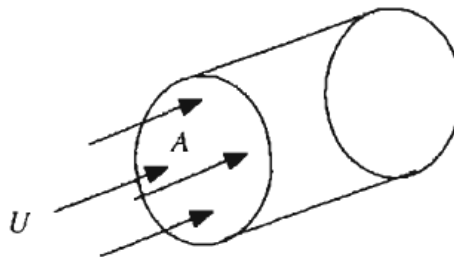


Fig. 31 Dónde para condiciones estándar se toma la temperatura del aire como 15 °C, y la densidad del aire como 1.225 kg/m³. (Manwell, 2002)

3.6.2 Eficiencia en extracción de potencia eólica

El coeficiente de capacidad se calculará para cada sitio a evaluar, mediante la potencia teórica obtenida y la entregada por la curva de potencia del aerogenerador.

Otra forma de medir la eficiencia es el coeficiente de capacidad (CF) mide la fracción de la capacidad instalada que se genera actualmente,

$$CF = \frac{E_{actual}}{E_{ideal}} = \frac{E_{actual}}{Tiempo P_N} = \frac{E_{actual}/P_N}{Tiempo} = \frac{Tiempo_{efectivo}}{Tiempo} \quad (2)$$

Ecuación #2

CF = Coeficiente de capacidad.

E = Potencia máxima

Tiempo = rango de tiempo.

P_N = potencia nominal del sistema

Un valor típico del coeficiente de capacidad para un proyecto económicamente viable es del 30 % y en algunas regiones con recurso muy bueno es del 50 %. (Letcher, 2017).

3.6.3 Media en la velocidad de viento

Para determinar la función de densidad de probabilidad de Weibull se requiere conocer dos parámetros: k, factor forma y c, factor escala. Ambos parámetros están en función de la velocidad media del viento y la desviación estándar. (Manwell, 2002).

La función de densidad de probabilidad de Weibull está dada en función de:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k \right] \quad (3)$$

Ecuación # 3

Donde:

p = Densidad de probabilidad Weibull

U = velocidad de viento (m/s)

K = Factor forma (-)

c = Factor escala (m/s)

Análisis empírico para los parámetros (Justus, 1978)

Usar (para $1 \leq k \leq 10$):

$$k = \left(\frac{\sigma_U}{U}\right)^{-1.086} \quad (4)$$

Ecuación # 4

k = Factor forma (-)

U = Velocidad de viento (m/s)

σ_U = Desviación estándar (m/s)

Y c se obtiene de la aproximación:

$$\frac{c}{U} = \left(0.568 + \frac{0.433}{k}\right)^{-\frac{1}{k}} \quad (5)$$

Ecuación #5

U = velocidad de viento (m/s)

K = Factor forma (-)

c = Factor escala (m/s)

3.6.4 Ley de Potencia

La ley de potencia de se utilizó para corregir la altura del punto de medición de la velocidad del viento del Aeropuerto para estar a la misma altura de la estación de CONAGUA.

En este trabajo se utiliza la Ley de Potencia de Hellman, para extrapolar datos de diferentes alturas y obtener un dato aproximado de la velocidad del viento a una altura determinada. Le Ley de Potencia se expresa como:

$$v = v_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (6)$$

Ecuación #6

V = Velocidad extrapolada (m/s)

H = Altura de velocidad a extrapolar (m)

Vo = Velocidad de referencia (m/s)

Ho = Altura de la velocidad de referencia Vo (m)

α = Coeficiente de fricción

En dónde v es la velocidad a la altura H , v_0 la velocidad a la altura H_0 (frecuentemente referida a 10 m) y a es el coeficiente de fricción o exponente de Hellmann de $1/7$. (Emeis, 2013)

El coeficiente está en función de la topografía del terreno sobre el cual se está midiendo la velocidad del viento. El coeficiente de fricción a es determinando empíricamente y la ecuación puede ser usada para ajustar datos razonablemente en el rango de 10 hasta 100 - 150 metros si no hay obstáculos significativos en el terreno. La Tabla 1 muestra los valores del exponente de Hellmann, que se dan en función de la rugosidad del terreno.

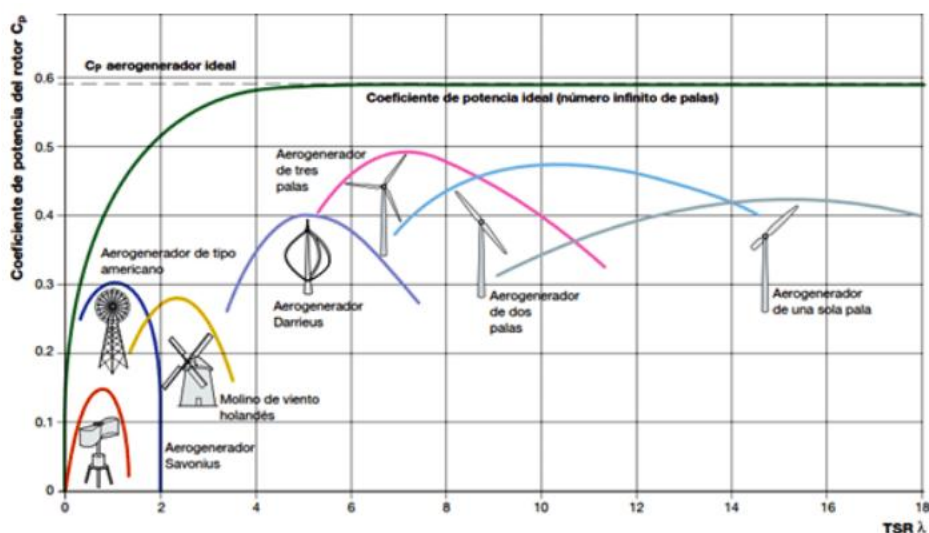
Valores del Coeficiente de fricción.

Tipo de Terreno	Coeficiente de fricción
Lagos, océano, superficies suaves y tierra dura	0.11
Césped	0.16
Terrenos de cultivo, setos o vallas y arbustos	0.20
Campo boscoso con muchos árboles	0.28
Área de la ciudad con edificios altos	0.40

Tabla 3 Valores del coeficiente de fricción. González, J. M. G., Saldivar, V. M. G., González, (2018).

3.6.5 Limite BETZ

El máximo valor de C_p está limitado de igual manera por La ley de Betz. La Figura 4 muestra la relación entre la velocidad específica y el ángulo de ataque con el coeficiente de potencia en una turbina de viento, que, a su vez, representa el desempeño de la turbina eólica para la extracción de la máxima potencia. (López, M. B., Barrero, D., & Garzón, S, 2015)



Gráfica 2 Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica y el ángulo de paso de las palas. (López, M. B., Barrero, D., & Garzón, S, 2015)

3.7 Obtención de datos meteorológicos en los dos sitios

En la elaboración de este proyecto se solicitó información de la velocidad y dirección del viento en las diferentes estaciones, y en cada uno se realizó diferentes métodos de captura por la diferencia de la disposición de información por lo que se trabajó individualmente el procedimiento en la integración de la base de datos para cada estación.

3.8 Procedimiento del análisis de la base de datos:

- Obtención de los datos de las estaciones.
- Conversión de los datos de una estación del Aeropuerto de nudos a m/s.
- Elaboración de rosas de los vientos.
- Cálculo de potencia.
- Cálculo de Densidad de probabilidad.
- Gráficos de potencia de aerogenerador contra la generación de energía de una vivienda.
- Factor de planta teórico.
- Obtención de porcentajes de la generación de potencia.

4 DATOS DE ESTACIONES

4.2 Datos de estación Aeropuerto

INFORME METEOROLOGICO ORDINARIO DE AERODROMO (METAR) Y ESPECIAL (SPECI) SUBDIRECCION DE METEOROLOGIA															ESTACION: MEXICALI, B.C.					
															FECHA: 04 DE ENERO 2014					
TIPO DE INFORME (METAR/SPECI)	INDICADOR DE LOCALIZACION (OOCC)	HORA DEL INFORME (YYGGZZ)	CORRECCION (CORR)	TIEMPO DE OBSERVACION (ddhhmm) (Indicador de hora de día)	VISIBILIDAD (VVVVSM) (V)	TIEMPO PRESENTE (VV'V'')	CONDICION DE CIELO (NNnnNNkkkkkk) (VVkkkk) SKC	temp. T (T)	temp. T (T)	DIR. V. (DIR)	R. (R)	SLP (PoPoPo)	Supp (Supp)	SP24P24 (SP24P24)	6 (6)	RRRrrr (RRRrrr)	Q/C/MCH (Q/C/MCH)	TIEMPO RECIENTE Y NOTAS (RE 'V' 'V')	Pres. hPa (Pres. hPa)	INCLIN. (INCLIN.)
METAR	MMML	0045Z		0000KT	10SM		FEW200	###	-1.2	A2990							8/004		9.9	AR
METAR	MMML	0148Z		0000KT	10SM		SKC	18.0	0.2	A2991									9.4	AR
METAR	MMML	0245Z		0000KT	10SM		SKC	16.0	0.2	A2991	SLP12	54000	391						8.5	AR
METAR	MMML	0345Z		0000KT	10SM		SKC	15.0	0.1	A2991									8.5	AR
METAR	MMML	0445Z		0000KT	10SM		SKC	13.0	0.3	A2992									7.1	AR
METAR	MMML	0545Z		0000KT	10SM		SKC	14.0	0.0	A2993	SLP14	52017	984						7.5	AR
METAR	MMML	0645Z		0000KT	10SM		SKC	13.0	0.3	A2993									7.1	AR
METAR	MMML	0745Z		0000KT	10SM		SKC	13.0	0.3	A2992									7.1	AR
METAR	MMML	0845Z		0000KT	10SM		SKC	13.0	1.1	A2991	SLP13	57009	986						7.4	AR
METAR	MMML	1400Z		0000KT	10SM		BKN1000VC200	11.0	3.9	A2992							8/078		7.5	AR
METAR	MMML	1445Z		0000KT	10SM		BKN1000VC200	11.0	3.9	A2992	SLP12	51111	984				8/078		7.5	AR
METAR	MMML	1550Z		1300KT	10SM		BKN1000VC200	12.0	4.0	A2995							8/078		8.0	AR
METAR	MMML	1647Z		1300KT	10SM		BKN1000VC200	13.0	5.2	A2995							8/078		9.0	AR
METAR	MMML	1753Z		1200KT	10SM		BKN1000VC200	15.0	7.1	A2997	SLP15	520129	977				8/078		10.7	AR
METAR	MMML	1845Z		1600KT	10SM		BKN1000VC200	17.0	8.0	A2992							8/076		12.0	AR
METAR	MMML	1945Z		0000KT	10SM		BKN200	19.0	9.1	A2993							8/002		13.3	BB

Tabla 4 Datos Aeropuerto de Mexicali en el formato con hora Zulú

El siguiente paso fue convertir la dirección y velocidad del viento, la velocidad la tienen en los dos primeros dígitos, lo marca en velocidad nudos (kt) y los 3 dígitos restantes es la dirección del viento en grados.

Aquí se agregaron tres columnas para transcribir la velocidad y mediante una fórmula en la columna dos se convertiría en m/s, y en la tercera columna se transcribió solamente los grados de la dirección del viento, todo esto se aplicó para los 365 días del año.

Este es el formato de información del Aeropuerto, como podemos observar es un archivo Excel, los datos de interés son las columnas de “Día y hora” y “Viento en superficie” la hora es utilizada llamada hora Zulu (“tiempo zulu”, también llamado Tiempo Universal Coordinado (UTC, en sus siglas en inglés) o Tiempo del Meridiano de Greenwich (GMT), esto depende de nuestra ubicación, por ejemplo las 2145Z significa que son las 13:45 h, como se obtiene por medio de una resta, por nuestra ubicación se resta 8 horas, 21 h menos 8 es igual a las 13 horas, y los otros dos números son los minutos, todo esto se programó en Excel para así realizar la conversión de hora agregando una columna para marcar la hora.

La hora GMT. Otro de los recursos que se pueden utilizar en esta actividad es la hora media en Greenwich u hora GMT (Greenwich mean time). Es la hora a partir de la cual, se miden todas las otras que recorren el globo, sumando una hora hacia el este y restándola hacia el oeste. En todas las redes sísmicas del mundo se utiliza esta hora en los sismógrafos, de esta forma se pueden utilizar los registros de sismógrafos situados en diferentes zonas horarias sin necesidad de cambios de hora complejos. Esta hora es conocida también como hora zulu, utilizada en aviación y también por el ejército norteamericano. Este último al tener bases y navíos en diferentes partes del mundo, utiliza esta hora para evitar confusiones horarias. (Sísmico, R. Localización de un sismo)

Formato original

TIPO DE INFORME	INDICADOR DE LUGAR	DIA Y HORA DEL INFORME	COR RTD	WIENTO EN SUPERFICIE	VISIBILIDAD
METAR O SPECI	CCCC	YYGGggZ		dddfgfmfKT	VVVSM
METAR	MMML	0045Z		31007KT	10SM
METAR	MMML	0145Z		29006KT	10SM
METAR	MMML	0245Z		27007KT	10SM
METAR	MMML	0345Z		25005KT	10SM
METAR	MMML	0445Z		29007KT	10SM
METAR	MMML	0545Z		28007KT	10SM
METAR	MMML	0645Z		27006KT	10SM
METAR	MMML	0745Z		28005KT	10SM
METAR	MMML	0845Z		28006KT	10SM

Tabla 5 Datos Aeropuerto de Mexicali formato original

Formato modificado

DIA Y HORA DEL INFORME YYGGggZ	HORA DIA	COR RTD	WIENTO EN SUPERFICIE dddfgfmfKT dndndn vdx dx dx	Direccion Viento grados	Vel. KT	Vel m/s
0045Z	4		32007KT	320	7	3.6011108
0145Z	5		31008KT	310	8	4.1155552
0245Z	6		35006KT	350	6	3.0866664
0645Z	7		29008KT	290	8	4.1155552
0445Z	8		00000KT	0	0	0
0545Z	9		29008KT	290	8	4.1155552
0645Z	10		29009KT	290	9	4.6299996
0745Z	11		34007KT	340	7	3.6011108

Tabla 6 Datos con formato modificado

Después se vació todos los datos en un formato, donde se separó cada mes, y así se obtuvo un promedio en velocidad y dirección del viento de los 365 días del año [Tabla 4].

En la tabla 7 se observa que en algunos espacios está en cero ya que esta estación solo se obtuvo el 71 % de los datos anuales.

01-ene-14						02-ene-01					
Hora Zulu	Time	'D GRADO	Vel (m/s)	Prom/dia (m/s)	Prom/dia	Hora Zulu	Time	'D GRADOS	Vel (m/s)	Prom/dia (m/s)	Prom/dia
0000Z	04:00 p. m.	250	2.057778	1.910793486	307.1429	0045Z	04:00 p. m.	0	0	2.198080618	281.3636
0100Z	05:00 p. m.	270	2.057778			0145Z	05:00 p. m.	0	0		
0200Z	06:00 p. m.	360	1.028889			0245Z	06:00 p. m.	0	0		
0300Z	07:00 p. m.	330	2.057778			0341Z	07:00 p. m.	0	0		
0400Z	08:00 p. m.	340	1.543333			0446Z	08:00 p. m.	0	0		
0500Z	09:00 p. m.	360	2.057778			0541Z	09:00 p. m.	340	2.57222		
0600Z	10:00 p. m.	340	2.057778			0641Z	10:00 p. m.	0	0		
0700Z	11:00 p. m.	280	2.057778			0745Z	11:00 p. m.	0	0		
0800Z	12:00 a. m.	280	2.057778			0845Z	12:00 a. m.	0	0		
0900Z	01:00 a. m.	0	0			0900Z	01:00 a. m.	0	0		
1000Z	02:00 a. m.	0	0			1000Z	02:00 a. m.	0	0		
1100Z	03:00 a. m.	0	0			1100Z	03:00 a. m.	0	0		
1200Z	04:00 a. m.	0	0			1200Z	04:00 a. m.	0	0		
1300z	05:00 a. m.	0	0			1300z	05:00 a. m.	0	0		
1400Z	06:00 a. m.	0	0			1400Z	06:00 a. m.	290	2.05778		
1500Z	07:00 a. m.	0	0			1545Z	07:00 a. m.	300	2.57222		
1600Z	08:00 a. m.	0	0			1645Z	08:00 a. m.	350	1.02889		
1700Z	09:00 a. m.	0	0			1745Z	09:00 a. m.	315	2.05778		
1800Z	10:00 a. m.	0	0			1845Z	10:00 a. m.	300	2.05778		
1900Z	11:00 a. m.	290	2.057778			1945Z	11:00 a. m.	320	2.05778		
2000Z	12:00 p. m.	310	2.057778			2041Z	12:00 p. m.	280	2.57222		
2100Z	01:00 p. m.	300	1.543333			2147Z	01:00 p. m.	310	1.54333		
2200Z	02:00 p. m.	280	2.057778			2245Z	02:00 p. m.	290	2.05778		
2300Z	03:00 p. m.	310	2.057778			2347Z	03:00 p. m.	300	3.60111		

Tabla 7 Visualización de todos los meses analizados

Velocidad del Viento

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
ENERO M/S	FEBRERO M/S	MARZO V/D	ABRIL V/D	MAYO V/D	JUNIO V/D	JULIO V/D	AGOSTO V/D	SEPTIEMBRE V/D	OCTUBRE V/D	NOVIEMBRE V/D	DICIEMBRE V/D
0000Z 2.0578	0000Z 4.195	0000Z 1.5444	0000Z 0.2311	0000Z 1.2022	0000Z 10.283	0000Z 3.0867	0000Z 4.63	0000Z 1.5444	0000Z 2.0578	0000Z 6.1456	0000Z 1.5433
0100Z 2.0578	0100Z 4.195	0100Z 1.5444	0100Z 0.2311	0100Z 1.2022	0100Z 10.283	0100Z 3.0867	0100Z 4.63	0100Z 1.5444	0100Z 2.0578	0100Z 6.1456	0100Z 1.5433
0200Z 1.0289	0200Z 1.5539	0200Z 0.0002	0200Z 1.2022	0200Z 1.5444	0200Z 6.1733	0200Z 3.0867	0200Z 1.5539	0200Z 2.0578	0200Z 2.5722	0200Z 6.1733	0200Z 3.0867
0300Z 2.0578	0300Z 2.5722	0300Z 2.5722	0300Z 3.6011	0300Z 1.5444	0300Z 6.1733	0300Z 4.195	0300Z 4.195	0300Z 0.0002	0300Z 2.0578	0300Z 2.5722	0300Z 2.0578
0400Z 1.5433	0400Z 3.0867	0400Z 0.0002	0400Z 6.6378	0400Z 4.63	0400Z 4.63	0400Z 1.5539	0400Z 1.5433	0400Z 1.5433	0400Z 2.0578	0400Z 4.63	0400Z 2.0578
0500Z 2.0578	0500Z 4.63	0500Z 4.63	0500Z 7.7167	0500Z 5.20	0500Z 6.1733	0500Z 4.195	0500Z 3.0867	0500Z 4.63	0500Z 2.5722	0500Z 6.2311	0500Z 2.5722
0600Z 2.0578	0600Z 4.195	0600Z 4.63	0600Z 5.6589	0600Z 4.195	0600Z 5.444	0600Z 3.6011	0600Z 2.5722	0600Z 2.0578	0600Z 2.0578	0600Z 6.6378	0600Z 2.5722
0700Z 2.0578	0700Z 3.6011	0700Z 3.6011	0700Z 4.63	0700Z 0.0002	0700Z 4.63	0700Z 2.0578	0700Z 4.63	0700Z 1.5433	0700Z 1.5433	0700Z 6.6378	0700Z 1.5433
0800Z 2.0578	0800Z 2.5722	0800Z 2.0887	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 4.63	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 5.6589	0800Z 1.5433
0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002
1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002
1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002
1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002
1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002
1400Z 0.0002	1400Z 3.6011	1400Z 3.0867	1400Z 3.0867	1400Z 4.195	1400Z 0.0002	1400Z 3.0867	1400Z 4.63	1400Z 2.5722	1400Z 1.5433	1400Z 3.0867	1400Z 2.5722
1500Z 0.0002	1500Z 3.6011	1500Z 3.4444	1500Z 3.4444	1500Z 6.1733	1500Z 2.5722	1500Z 3.6011	1500Z 1.7167	1500Z 3.6011	1500Z 3.0867	1500Z 3.0867	1500Z 0.0002
1600Z 0.0002	1600Z 1.5444	1600Z 4.195	1600Z 1.5444	1600Z 3.39	1600Z 4.195	1600Z 4.63	1600Z 1.7167	1600Z 2.5722	1600Z 2.0578	1600Z 3.0867	1600Z 0.0002
1700Z 0.0002	1700Z 0.2311	1700Z 2.5722	1700Z 1.5539	1700Z 1.2022	1700Z 4.195	1700Z 6.6378	1700Z 1.2022	1700Z 3.6011	1700Z 1.5433	1700Z 6.1733	1700Z 4.195
1800Z 2.0578	1800Z 1.2022	1800Z 3.6011	1800Z 1.2022	1800Z 1.7167	1800Z 0.0002	1800Z 5.6589	1800Z 1.5444	1800Z 2.0578	1800Z 0.0002	1800Z 4.63	1800Z 2.5722
1900Z 2.0578	1900Z 1.5444	1900Z 2.5722	1900Z 3.28	1900Z 1.2022	1900Z 3.0867	1900Z 4.63	1900Z 3.6011	1900Z 2.0578	1900Z 2.0578	1900Z 4.195	1900Z 2.0578
2000Z 2.0578	2000Z 4.63	2000Z 1.0289	2000Z 7.7167	2000Z 2.5722	2000Z 4.195	2000Z 1.5444	2000Z 3.6011	2000Z 0.0002	2000Z 1.5433	2000Z 5.6589	2000Z 3.0867
2100Z 1.5433	2100Z 4.63	2100Z 1.5539	2100Z 4.195	2100Z 1.5433	2100Z 2.0578	2100Z 1.2022	2100Z 3.6011	2100Z 0.0002	2100Z 1.5433	2100Z 3.0867	2100Z 1.5433
2200Z 2.0578	2200Z 3.0867	2200Z 3.0867	2200Z 1.7167	2200Z 4.195	2200Z 3.0867	2200Z 3.6011	2200Z 6.1733	2200Z 2.0578	2200Z 1.5433	2200Z 6.1733	2200Z 3.0867
2300Z 2.0578	2300Z 1.5444	2300Z 3.6011	2300Z 10.283	2300Z 6.6378	2300Z 3.6011	2300Z 5.6589	2300Z 1.5444	2300Z 1.5433	2300Z 3.0867	2300Z 3.0867	2300Z 2.5722
0000Z 0.0002	0000Z 4.63	0000Z 1.7167	0000Z 10.283	0000Z 4.63	0000Z 2.5722	0000Z 6.1733	0000Z 1.5444	0000Z 1.5433	0000Z 2.5722	0000Z 5.444	0000Z 2.5722
0100Z 0.0002	0100Z 2.5722	0100Z 0.2311	0100Z 3.456	0100Z 3.0867	0100Z 1.5433	0100Z 4.195	0100Z 1.5444	0100Z 1.5433	0100Z 2.5722	0100Z 3.6011	0100Z 2.5722
0200Z 0.0002	0200Z 2.0578	0200Z 6.6378	0200Z 3.456	0200Z 2.0578	0200Z 1.0289	0200Z 1.5444	0200Z 1.5444	0200Z 2.0578	0200Z 2.0578	0200Z 4.63	0200Z 2.0578
0300Z 0.0002	0300Z 3.0867	0300Z 4.63	0300Z 9.28	0300Z 3.0867	0300Z 1.5433	0300Z 6.6378	0300Z 3.6011	0300Z 3.0867	0300Z 2.0578	0300Z 2.0578	0300Z 2.5722
0400Z 0.0002	0400Z 3.0867	0400Z 4.63	0400Z 3.456	0400Z 3.0867	0400Z 0.0002	0400Z 3.6011	0400Z 2.5722	0400Z 2.0578	0400Z 1.0289	0400Z 2.0578	0400Z 1.5433
0500Z 2.5722	0500Z 3.0867	0500Z 4.195	0500Z 6.1733	0500Z 3.6011	0500Z 2.0578	0500Z 4.195	0500Z 3.0867	0500Z 1.5433	0500Z 3.0867	0500Z 3.0867	0500Z 1.5433
0600Z 0.0002	0600Z 3.6011	0600Z 4.195	0600Z 10.283	0600Z 2.5722	0600Z 2.5722	0600Z 4.63	0600Z 2.0578	0600Z 1.5433	0600Z 1.0289	0600Z 4.195	0600Z 2.5722
0700Z 0.0002	0700Z 3.0867	0700Z 2.0578	0700Z 4.195	0700Z 2.0578	0700Z 2.5722	0700Z 4.195	0700Z 3.0867	0700Z 2.0578	0700Z 4.63	0700Z 3.6011	0700Z 1.5433
0800Z 0.0002	0800Z 2.0578	0800Z 1.5433	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 0.0002	0800Z 1.5433
0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002	0900Z 0.0002
1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002	1000Z 0.0002
1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002	1100Z 0.0002
1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002	1200Z 0.0002
1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002	1300Z 0.0002
1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002	1400Z 0.0002
1500Z 2.5722	1500Z 0.0002	1500Z 1.5433	1500Z 5.6589	1500Z 2.5722	1500Z 1.5433	1500Z 2.5722	1500Z 1.2022	1500Z 1.5433	1500Z 2.5722	1500Z 3.6011	1500Z 1.5433
1600Z 1.0289	1600Z 2.0578	1600Z 2.5722	1600Z 7.7167	1600Z 2.5722	1600Z 4.195	1600Z 1.5444	1600Z 2.5722	1600Z 1.5433	1600		

Mes 1 ENERO WD	Mes 2 FEBRERO WD	Mes 3 MARZO WD	Mes 4 ABRIL WD	Mes 5 MAYO WD	Mes 6 JUNIO WD	Mes 7 JULIO WD	Mes 8 AGOSTO WD	Mes 9 SEPTIEMBRE WD	Mes 10 OCTUBRE WD
0000z 250	0000z 250	0000z 160	0000z 280	0000z 330	0000z 300	0000z 160	0000z 140	0000z 140	0000z 120
0100z 270	0100z 270	0100z 150	0100z 270	0100z 330	0100z 280	0100z 150	0100z 130	0100z 160	0100z 110
0200z 360	0200z 270	0200z 180	0200z 290	0200z 350	0200z 280	0200z 140	0200z 140	0200z 150	0200z 150
0300z 330	0300z 270	0300z 200	0300z 360	0300z 320	0300z 290	0300z 130	0300z 110	0300z 0	0300z 140
0400z 340	0400z 300	0400z 0	0400z 300	0400z 320	0400z 290	0400z 140	0400z 120	0400z 130	0400z 140
0500z 360	0500z 290	0500z 10	0500z 310	0500z 320	0500z 300	0500z 130	0500z 130	0500z 80	0500z 120
0600z 340	0600z 270	0600z 40	0600z 310	0600z 310	0600z 310	0600z 130	0600z 140	0600z 50	0600z 120
0700z 280	0700z 270	0700z 80	0700z 290	0700z 300	0700z 300	0700z 120	0700z 130	0700z 340	0700z 10
0800z 280	0800z 10	0800z 80	0800z 0	0800z 0	0800z 0	0800z 0	0800z 120	0800z 0	0800z 0
0900z 0	0900z 0	0900z 0	0900z 0	0900z 0	0900z 0	0900z 0	0900z 80	0900z 0	0900z 0
1000z 0	1000z 0	1000z 0	1000z 0	1000z 0	1000z 0	1000z 0	1000z 100	1000z 0	1000z 0
1100z 0	1100z 0	1100z 0	1100z 0	1100z 0	1100z 0	1100z 110	1100z 140	1100z 0	1100z 0
1200z 0	1200z 0	1200z 0	1200z 0	1200z 0	1200z 0	1200z 110	1200z 160	1200z 70	1200z 180
1300z 0	1300z 0	1300z 30	1300z 270	1300z 330	1300z 0	1300z 120	1300z 160	1300z 70	1300z 140
1400z 0	1400z 300	1400z 360	1400z 70	1400z 310	1400z 0	1400z 150	1400z 160	1400z 90	1400z 70
1500z 0	1500z 280	1500z 0	1500z 250	1500z 340	1500z 290	1500z 150	1500z 150	1500z 120	1500z 130
1600z 0	1600z 300	1600z 360	1600z 270	1600z 350	1600z 300	1600z 160	1600z 140	1600z 130	1600z 170
1700z 290	1700z 330	1700z 360	1700z 230	1700z 360	1700z 320	1700z 170	1700z 150	1700z 120	1700z 310
1800z 310	1800z 330	1800z 350	1800z 280	1800z 10	1800z 0	1800z 170	1800z 160	1800z 120	1800z 0
1900z 300	1900z 300	1900z 340	1900z 230	1900z 350	1900z 240	1900z 120	1900z 140	1900z 190	1900z 270
2000z 280	2000z 320	2000z 50	2000z 290	2000z 310	2000z 290	2000z 140	2000z 150	2000z 0	2000z 230
2100z 310	2100z 310	2100z 290	2100z 250	2100z 30	2100z 300	2100z 130	2100z 130	2100z 140	2100z 210
2200z 0	2200z 330	2200z 330	2200z 270	2200z 340	2200z 30	2200z 150	2200z 130	2200z 130	2200z 260
2300z 0	2300z 310	2300z 360	2300z 300	2300z 300	2300z 100	2300z 160	2300z 140	2300z 10	2300z 270
0000z 0	0000z 320	0000z 1	0000z 300	0000z 290	0000z 80	0000z 140	0000z 130	0000z 100	0000z 250
0100z 0	0100z 290	2	0100z 280	0100z 280	0100z 100	0100z 130	0100z 140	0100z 100	0100z 210
0200z 0	0200z 340	3	0200z 270	0200z 270	0200z 160	0200z 130	0200z 120	0200z 140	0200z 310
0300z 0	0300z 300	4	0300z 270	0300z 270	0300z 170	0300z 130	0300z 140	0300z 120	0300z 240
0400z 0	0400z 280	5	0400z 260	0400z 260	0400z 0	0400z 130	0400z 150	0400z 30	0400z 260
0500z 340	0500z 300	6	0500z 280	0500z 250	0500z 200	0500z 120	0500z 170	0500z 110	0500z 230
0600z 0	0600z 260	7	0600z 290	0600z 240	0600z 30	0600z 110	0600z 150	0600z 100	0600z 290
0700z 0	0700z 300	8	0700z 300	0700z 290	0700z 360	0700z 110	0700z 150	0700z 320	0700z 0

Tabla 9 Visualización de dirección de viento promedio en un año

Formato para el programa WRPLOT, aquí se pegaron todos los datos de dirección y velocidad del viento, la columna "A" es el año, la columna "B" es el mes, la "C" son los días, la "D" son las horas, la "E" dirección y la "F" es la velocidad del viento se guardó en un formato de Excel 98, para poder correr el programa y así realizar una rosa de los vientos de cada mes, todos los números ceros se eliminaron para que el programa no tome en cuenta.

	A	B	C	D	E	F
21	2014	1	1	12	310	2.057778
22	2014	1	1	13	300	1.543333
23	2014	1	1	14	280	2.057778
24	2014	1	1	15	310	2.057778
25	2014	1	2	16	0	0
26	2014	1	2	17	0	0
27	2014	1	2	18	0	0
28	2014	1	2	19	0	0
29	2014	1	2	20	0	0
30	2014	1	2	21	340	2.57222
31	2014	1	2	22	0	0
32	2014	1	2	23	0	0
33	2014	1	2	24	0	0
34	2014	1	2	1	0	0
35	2014	1	2	2	0	0
36	2014	1	2	3	0	0
37	2014	1	2	4	0	0
38	2014	1	2	5	0	0
39	2014	1	2	6	290	2.05778
40	2014	1	2	7	300	2.57222
41	2014	1	2	8	350	1.02889
42	2014	1	2	9	315	2.05778
43	2014	1	2	10	300	2.05778

Tabla 10 Datos ordenados en formato WRPLOT

4.3 Rosa de los vientos.

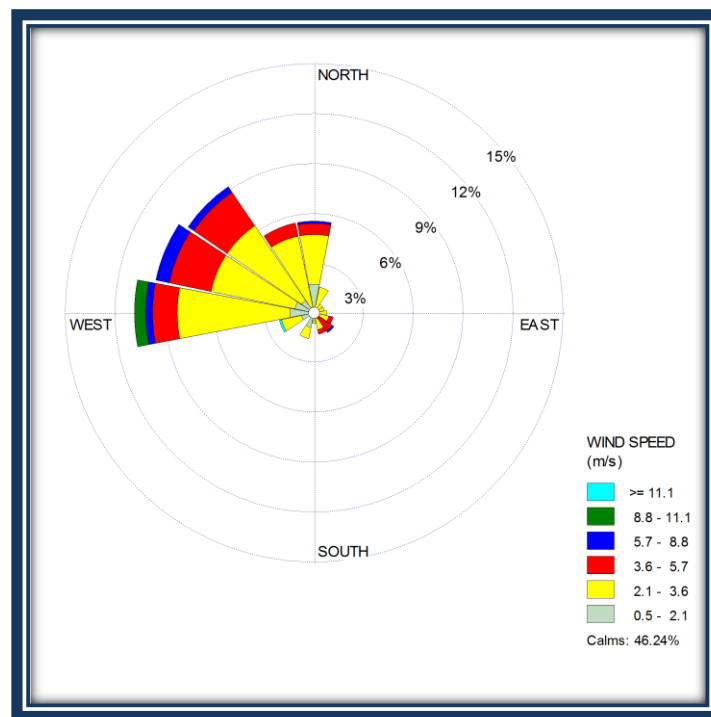
La rosa de los vientos es un gráfico radial muy común en el estudio del viento, en él se representan para cada dirección distintos valores de los datos de viento. Suele dividirse en 8, 12 o 16 sectores, que representan la precisión en las direcciones de viento. Hay dos tipos de rosas de los vientos principales, las de velocidades y las de frecuencias, que son las que se realizarán en el proyecto como muestra la gráfica 3.

Rosa de velocidades: Muestra la velocidad de viento para cada dirección.

Rosa de frecuencias: Representa la probabilidad de que sople el viento en función de la dirección.

La suma de todas las probabilidades (frecuencias), más la frecuencia de calmas (frecuencia en la que no hay viento), tiene que ser el 100 %. (Artilló García, M. (2017).

Este es un ejemplo del programa WRPLOT del Mes de enero 2014 en la estación del aeropuerto los demás meses se pueden observar en anexos con su respectiva estación y mes.



Gráfica 3 Rosa de los vientos mes Enero Aeropuerto.

4.4 Selección del aerogenerador

Características de Aerogenerador 4 kw que se realizó los estudios obtenidos, de la compañía Enair.

Aerogenerador Enair 70PRO	4 kW
Potencia Nominal	4 kW
Diámetro de Aspas	4.3m
Inversor	97 %
Tensión	24 / 48 / 220V
Potencia de Salida Max	5 kw
Velocidad de arranque	2 m/s
Velocidad Nominal	11 m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Eficiencia Global	43%
Altura de la Torre	10 m

Tabla 11 Características de Aerogenerador, Enair (2020)



Fig. 32 Turbina Eólica, Enair (2020)

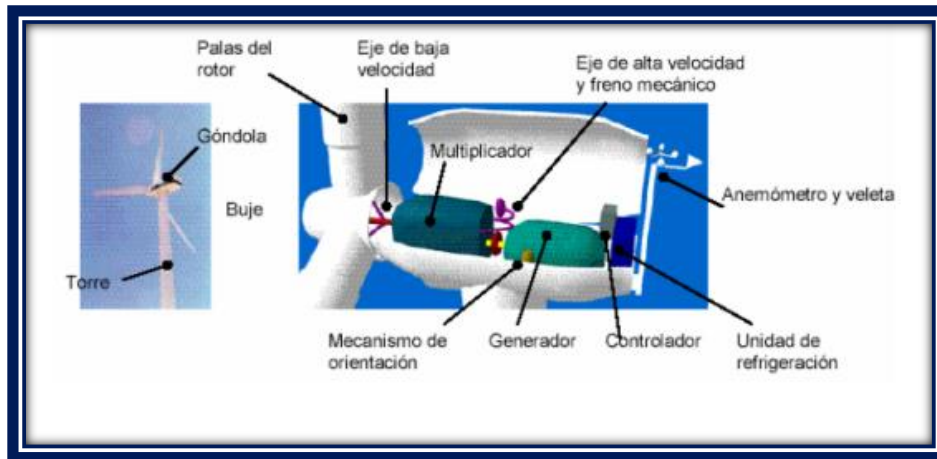


Fig. 33 Partes aerogenerador Enair (2020)

Como se observa, se denomina aerogenerador al sistema completo, incluyendo la torre. La turbina eólica es en realidad únicamente la parte aerodinámica del aerogenerador (incluyendo la caja de engranajes o multiplicadora). Es decir, con el término turbina eólica se identifica el sistema motriz del generador eléctrico.

En esta tabla 12 podremos ver que se anexa una columna “G” es la potencia, con la fórmula de potencia (Maxwell, 2009), y esto se realizó a cada mes de las 2 estaciones, con las características de nuestro aerogenerador que seleccionamos.

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

Ecuación # 1 (Manwell, 2002),

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	2014	11	1	16	200	1.54333	15.91544									
2	2014	12	1	17	280	4.63	429.7468									
3	2014	12	1	18	270	3.08667	127.3235									
4	2014	12	1	19	280	2.05778	37.72548									
5	2014	12	1	20	300	2.05778	37.72548									
6	2014	12	1	21	340	2.57222	73.68258									
7	2014	12	1	22	310	2.57222	73.68258									
8	2014	12	1	23	40	1.54333	15.91544									
9	2014	12	1	24	50	1.54333	15.91544									
10	2014	12	1	1	0	0	0									
11	2014	12	1	2	0	0	0									
12	2014	12	1	3	0	0	0									
13	2014	12	1	4	0	0	0									
14	2014	12	1	5	0	0	0									
15	2014	12	1	6	60	2.57222	73.68258									
16	2014	12	1	7	0	0	0									
17	2014	12	1	8	20	2.57222	73.68258									
18	2014	12	1	9	330	4.11556	301.8039									
19	2014	12	1	10	300	2.57222	73.68258									
20	2014	12	1	11	340	2.05778	37.72548									
21	2014	12	1	12	390	3.08667	127.3235									
22	2014	12	1	13	320	1.54333	15.91544									

Tabla 12 Cálculo de potencia eólica eléctrica

4.5 Datos de CONAGUA

En la estación de CONAGUA, fue un formato más sencillo, los datos de viento son en km/h y se convirtió en m/s para poder transcribir los datos y realizar exactamente lo mismo que hicimos en la estación de Aeropuerto, solo ocupamos la columna A, B y D, que significa la fecha y hora, dirección del viento y velocidad del viento respectivamente en la Tab 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	fecha	DirViento	DirRafaga	RapViento	RapRafaga	TempAire	HumRelativa	PresBarometric	Precipitacion	RadSolar	nombre_estacion
2	01/01/2014 00:00	21	18	5.4	6.3	20.6	17	1018.2	0	125	MEXICALI (EHCA)
3	01/01/2014 00:10	18	24	5	6.6	20.2	19	1018.2	0	94	MEXICALI (EHCA)
4	01/01/2014 00:20	348	4	4.3	6	20.1	17	1018.2	0	63	MEXICALI (EHCA)
5	01/01/2014 00:30	354	0	4.3	5.5	19.9	17	1018.1	0	36	MEXICALI (EHCA)
6	01/01/2014 00:40	345	344	4	4.7	19.5	17	1018.1	0	10	MEXICALI (EHCA)
7	01/01/2014 00:50	346	344	1.7	3.8	18.7	21	1018	0	0	MEXICALI (EHCA)
8	01/01/2014 01:00	313	353	0	0	17.8	18	1018	0	0	MEXICALI (EHCA)
9	01/01/2014 01:10	308	290	0	0	17.7	18	1018	0	0	MEXICALI (EHCA)
10	01/01/2014 01:20	317	320	0	0	17.3	17	1018.1	0	0	MEXICALI (EHCA)
11	01/01/2014 01:30	322	337	1.2	4.6	17	19	1018.1	0	0	MEXICALI (EHCA)
12	01/01/2014 01:40	337	337	3.9	4.7	17.7	20	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
13	01/01/2014 01:50	328	337	0	0	17.3	22	1018.1	0	0	MEXICALI (EHCA)
14	01/01/2014 02:00	313	316	0	0	16.8	22	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
15	01/01/2014 02:10	312	312	0	0	16.5	22	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
16	01/01/2014 02:20	312	312	0	0	16.6	22	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
17	01/01/2014 02:30	288	313	0	0	16.2	23	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
18	01/01/2014 02:40	187	171	1.7	4.4	16.2	24	1018.1	0	0	MEXICALI (EHCA)
19	01/01/2014 02:50	197	209	3.7	5.2	16.4	21	1018.1	0	0	MEXICALI (EHCA)
20	01/01/2014 03:00	217	224	5.5	6.2	16.8	19	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
21	01/01/2014 03:10	229	224	5.2	5.9	16.8	19	1018.2	0	0	MEXICALI (EHCA)
22	01/01/2014 03:20	242	243	5.2	5.7	16.5	21	1018.3	0	0	MEXICALI (EHCA)
23	01/01/2014 03:30	310	270	4.6	5.6	16.1	23	1018.3	0	0	MEXICALI (EHCA)
24	01/01/2014 03:40	331	329	5.6	7	15.1	25	1018.4	0	0	MEXICALI (EHCA)
25	01/01/2014 03:50	329	328	7	7.9	15	26	1018.4	0	0	MEXICALI (EHCA)
26	01/01/2014 04:00	337	342	8.9	10.1	14.8	25	1018.5	0	0	MEXICALI (EHCA)
27	01/01/2014 04:10	2	3	5.4	7.1	14.4	25	1018.5	0	0	MEXICALI (EHCA)

Tabla 13 Visualización de los datos crudos obtenidos de la estación meteorológica de CONAGUA en Mexicali

Se vació los datos en un formato para distinguir y separar todo, en este formato podemos observar la hora, y la velocidad del viento y en la columna L tenemos un promedio de cada hora separado, en la columna M tenemos los promedios de todas las horas y por último en la columna N tenemos el promedio de todo el día como se observa en Tab 14.

01-ene-08						02-ene-08						03-ene-08							
HORA	Time	WSK Kph	ws m/s	Prom por hora	Prom horas	Prom por día	HORA	Time	WSK Kph	ws m/s	Prom por hora	Prom horas	Prom por día	HORA	Time	WSK Kph	ws m/s	Prom por hora	Prom
3	00:00	5.4	1.5		1.143518519	1.739525463	00:00	00:00	4.1	1.13889		1.185185185	1.566936728	00:00	00:00	3.3	0.91667		0.8
4	00:10	5	1.38889		0.708333333		00:10	00:10	3.7	1.02778		0.875		00:10	00:10	2	0.55556		2.1
5	00:20	4.3	1.19444		0.75		00:20	00:20	3.5	0.97222		0.875		00:20	00:20	3	0.83333		2.1
6	00:30	4.3	1.19444		1.532407407		00:30	00:30	4.3	1.19444		1.291666667		00:30	00:30	2.8	0.77778		2.4
7	00:40	4	1.11111		1.958333333		00:40	00:40	4.9	1.36111		1.277777778		00:40	00:40	1.9	0.52778		1.3
8	00:50	1.7	0.47222	1.143518519	1.552777778		00:50	00:50	5.1	1.41667	1.185185185	1.773148348		00:50	00:50	5	1.38889	0.833333333	0.6
9	01:00	0	0		1.685185185		01:00	01:00	4.4	1.22222		1.675925926		01:00	01:00	7	1.94444		1.2
10	01:10	0	0		1.777777778		01:10	01:10	3	0.83333		2.287037037		01:10	01:10	7.2	2		1.5
11	01:20	0	0		2.328703704		01:20	01:20	2	0.55556		2.657407407		01:20	01:20	8	2.22222		2.3
12	01:30	1.2	0.33333		2.467592593		01:30	01:30	0	0		2.106481481		01:30	01:30	7.8	2.16667		2.3
13	01:40	3.9	1.08333		2.365740741		01:40	01:40	0	0		1.787037037		01:40	01:40	8.1	2.25		2.0
14	1:00-1:50	01:50	0	0	0.708333333		1:00-1:50	01:50	3.2	0.88889	0.875	1.916666667		1:00-1:50	01:50	9	2.5	2.180555556	1.8
15	02:00	0	0		2.209703704		02:00	02:00	4.1	1.13889		1.375		02:00	02:00	6.9	2.47222		2.4
16	02:10	0	0		4.972222222		02:10	02:10	3.6	1		1.537037037		02:10	02:10	6.1	2.25		2.0
17	02:20	0	0		2.005555556		02:20	02:20	4.5	1.25		1.925925926		02:20	02:20	8.1	2.25		2.4
18	02:30	0	0		0.611111111		02:30	02:30	6	1.66667		0.925925926		02:30	02:30	9.2	2.55556		0.8
19	02:40	1.7	0.47222		0.395833333		02:40	02:40	5.7	1.58333		0.351851852		02:40	02:40	8.2	2.27778		0.5
20	2:00-2:50	02:50	3.7	1.02778	0.75	1.12037037	2:00-2:50	02:50	3.8	1.05556	1.282407407	1.523148148		2:00-2:50	02:50	5	1.38889	2.199074074	1.2
21	03:00	5.5	1.52778		1.726851852		03:00	03:00	4.4	1.22222		1.601851852		03:00	03:00	7.7	2.13889		1.0
22	03:10	5.2	1.44444		1.675925926		03:10	03:10	4.3	1.19444		1.546296296		03:10	03:10	8.4	2.33333		1.0
23	03:20	5.2	1.44444		1.231481481		03:20	03:20	5.8	1.61111		1.981481481		03:20	03:20	10.2	2.83333		1.3
24	03:30	4.6	1.27778		1.634259259		03:30	03:30	5.4	1.5		1.680555556		03:30	03:30	6.9	2.47222		1.6
25	03:40	5.6	1.55556		2.106481481		03:40	03:40	4.8	1.27778		1.537037037		03:40	03:40	9.1	2.52778		1.6
26	3:00-3:50	03:50	7	1.94444	1.532407407		3:00-3:50	03:50	3.4	0.94444	1.291666667	1.50462963		3:00-3:50	03:50	7.7	2.13889	2.407407407	1.2
27	04:00	8.9	2.47222		1.662037037		04:00	04:00	3.3	0.91667				04:00	04:00	5.2	1.44444		
28	04:10	5.4	1.5				04:10	04:10	3.8	1.05556				04:10	04:10	4.9	1.36111		
29	04:20	6.2	1.72222				04:20	04:20	5	1.38889				04:20	04:20	5.1	1.41667		
30	04:30	8	2.22222				04:30	04:30	5.2	1.44444				04:30	04:30	5.2	1.44444		

Tabla 14 Ordenamiento de los datos de CONAGUA

Aquí es similar pero la columna C es la dirección del viento en grados, la E promedios de dirección de horas del día y la F es el promedio de todo el día . [tab 15]

01-ene-01						02-ene-01						03-ene-01							
HORA	Time	WD GRADOS	Prom/ hora	Prom/ día	Prom/ hora	Prom/ día	HORA	Time	WD GRADOS	Prom/ hora	Prom/ hora	Prom/ día	HORA	Time	WD GRADOS	Prom/ hora	Prom/ hora	Prom/ día	HORA
3	00:00	21	238.667	274.688			00:00	00:00	310	303.5	216.409722		00:00	00:00	38	122.16667		188.5625	00:00
4	00:10	18	320.833				00:10	00:10	229	276.6666667			00:10	00:10	18	272.8333333			00:10
5	00:20	348	283.167				00:20	00:20	388	63.33333333			00:20	00:20	22	23			00:20
6	00:30	354	278.333				00:30	00:30	301	105.3333333			00:30	00:30	24	26.6666667			00:30
7	00:40	345	220				00:40	00:40	288	64.83333333			00:40	00:40	335	32.6666667			00:40
8	00:50	246	238.66667	314.833			00:50	00:50	285	303.5	64.83333333		00:50	00:50	286	122.16667	286.8333333		00:50
9	01:00	313	314				01:00	01:00	289	171			01:00	01:00	289	296.8333333			01:00
10	01:10	308	273.167				01:10	01:10	314	285.8333333			01:10	01:10	277	279.8333333			01:10
11	01:20	317	278.833				01:20	01:20	316	278.8333333			01:20	01:20	275	280.6666667			01:20
12	01:30	322	274.167				01:30	01:30	323	282			01:30	01:30	270	278.1666667			01:30
13	01:40	327	238.667				01:40	01:40	354	300.6666667			01:40	01:40	268	293.5			01:40
14	1:00-1:50	01:50	328	320.83333	235.667		1:00-1:50	01:50	54	276.66667	294.1666667		1:00-1:50	01:50	260	272.83333	284.5		1:00-1:50
15	02:00	313	288.5				02:00	02:00	54	283.3333333			02:00	02:00	258	275.6666667			02:00
16	02:10	312	265				02:10	02:10	64	267.6666667			02:10	02:10	268	281.6666667			02:10
17	02:20	312	234.833				02:20	02:20	68	282.5			02:20	02:20	270	273.3333333			02:20
18	02:30	288	157.667				02:30	02:30	61	283.6666667			02:30	02:30	270	196.3333333			02:30
19	02:40	197	209				02:40	02:40	81	257.3333333			02:40	02:40	273	33.33333333			02:40
20	2:00-2:50	02:50	197	268.16667	303.167		2:00-2:50	02:50	89	63.3333333	311.5		2:00-2:50	02:50	301	273	225.5		2:00-2:50
21	03:00	217	310				03:00	03:00	89	308.3333333			03:00	03:00	29	154.5			03:00
22	03:10	229	275.333				03:10	03:10	116	295.3333333			03:10	03:10	20	67.33333333			03:10
23	03:20	242	236				03:20	03:20	127	288.8333333			03:20	03:20	27	48.83333333			03:20
24	03:30	310	277.833				03:30	03:30	102	29.6666667			03:30	03:30	27	39.83333333			03:30
25	03:40	331	287.333				03:40	03:40	100	37.83333333			03:40	03:40	27	50.6666667			03:40
26	3:00-3:50	03:50	329	276.33333	306.5		3:00-3:50	03:50	99	105.33333	38.33333333		3:00-3:50	03:50	27	26.66667	64.33333333		3:00-3:50
27	04:00	327					04:00	04:00	70				04:00	04:00	28				04:00
28	04:10	2					04:10	04:10	66				04:10	04:10	33				04:10
29	04:20	1					04:20	04:20	57				04:20	04:20	29				04:20
30	04:30	347					04:30	04:30	56				04:30	04:30	29				04:30
31	4:00-4:50	04:40	321				4:00-4:50	04:40	63				4:00-4:50	04:40	39				4:00-4:50
32	04:50	312	220				04:50	04:50	77	64.8333333			04:50	04:50	40	32.66667			04:50
33	05:00	319					05:00	05:00	75				05:00	05:00	27				05:00
34	05:10	317					05:10	05:10	65				05:10	05:10	355				05:10
35	05:20	313																	

dirección del viento y F la velocidad del viento, una vez realizado se adjunta al programa y nos lanza la rosa de los vientos.[Tab 16]

	A	B	C	D	E	F
10	2014	1	1	10	192.33333	2.4675926
11	2014	1	1	11	277.83333	2.3657407
12	2014	1	1	12	169.83333	2.0324074
13	2014	1	1	13	123.16667	2.2037037
14	2014	1	1	14	155.16667	4.9722222
15	2014	1	1	15	133.83333	2.0055556
16	2014	1	1	16	165.5	0.6111111
17	2014	1	1	17	272.33333	0.3958333
18	2014	1	1	18	285.83333	1.1203704
19	2014	1	1	19	332.83333	1.7268519
20	2014	1	1	20	316.5	1.6759259
21	2014	1	1	21	299.83333	1.2314815
22	2014	1	1	22	320.66667	1.6342593
23	2014	1	1	23	286.33333	2.1064815
24	2014	1	1	24	288	1.662037
25	2014	1	2	1	232.33333	1.1851852
26	2014	1	2	2	8.3333333	0.875
27	2014	1	2	3	232.16667	1.2824074
28	2014	1	2	4	289	1.2916667
29	2014	1	2	5	285	1.2777778
30	2014	1	2	6	307.66667	1.7731481
31	2014	1	2	7	298.33333	1.6759259
32	2014	1	2	8	280.33333	2.287037
33	2014	1	2	9	287.5	2.6574074
34	2014	1	2	10	167.16667	2.1064815
35	2014	1	2	11	224.83333	1.787037
36	2014	1	2	12	279.5	1.9166667
37	2014	1	2	13	231	1.375

Tabla 16 Datos ordenados para introducirse al WRPLOT

Diagrama de metodología utilizada.

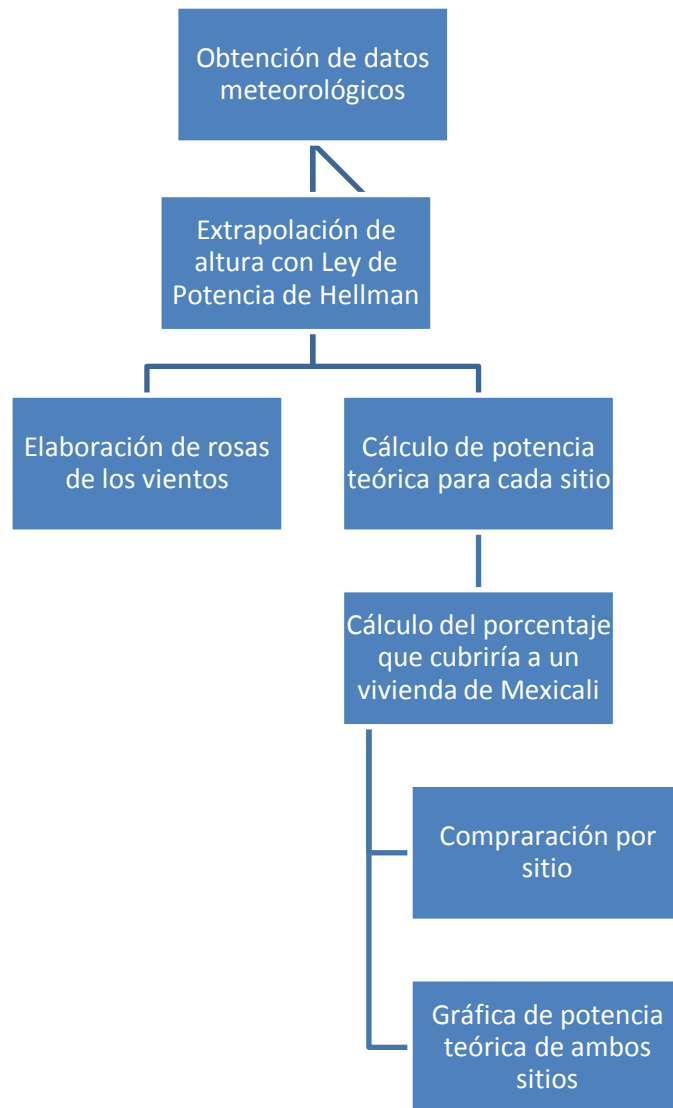


Fig. 33 Diagrama de Flujo Propuesto

5 RESULTADOS

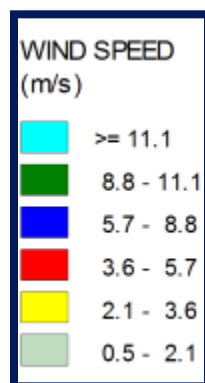
5.2 Rosa de los vientos de las estaciones y comparación de sitios de Mexicali CONAGUA y Aeropuerto

La Figura 34 muestra que la estación CONAGUA está en una mancha urbana que hay tránsito vehicular, árboles, edificios de diferentes tamaños, y la estación aeropuerto casi totalmente despejada y un terreno plano. Analizamos velocidad de viento, potencia, horas de operación de turbina, cuanto porcentaje cubriría una turbina de cada estación a una vivienda.



Fig. 34 Google Earth (2012)

Se realizaron las rosas de los vientos para los dos sitios y se generaron mapas mensuales del comportamiento del viento y en la tabla 17 se observa el color con las velocidades del viento m/s.



Gráfica 4 Rango de velocidad del viento



Fig. 35 Enero, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 8.8 m/s está en **44.8 %** de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el 53.3 % de datos del mes de enero. En estación meteorológica de CONAGUA tiene un rango de clases de la velocidad del viento de 2.1-3.6 m/s está en **37.3 %** y de 0.5 – 2.10 m/s con un 60.2 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases del mismo mes [fig. 35].



Fig. 36 Febrero, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 5.7 m/s está en **41.2 %** de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **50.2 %** de datos del mes de febrero. En la estación meteorológica del CONAGUA en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1-8.80 m/s está en 41.3 % y de 0.5 – 2.10 m/s con un 55.2 % de probabilidad de ocurrencia [fig. 37].



Fig. 37 Marzo, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 5.7-8.80 m/s está en **56.7 %** y 0.50 – 2.10 m/s con 6 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **63.8 %** de datos del mes de marzo. En la estación meteorológica del CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 11.10 m/s está en 65.6 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 34 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases en el mes de marzo [fig. 37].



Fig. 38 Abril, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en **57.7 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con **3.9 %** de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **61.56 %** de datos del mes de abril. En la estación de CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 11.10 m/s está en 75.1 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 24.4 % de probabilidad de ocurrencia [fig. 38].



Fig. 39 Mayo, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en 65 % y el 0.5 – 2.10 m/s con 5.9 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **70.83 %** de datos del mes de mayo. En la estación meteorológica del CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 11.10 m/s está en 75.5 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 24.6 % de probabilidad de ocurrencia [fig. 39].



Fig. 40 Junio, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en **65.5 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 8.8 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **74.31 %** de datos del mes de junio. En CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 11.10 m/s está en 84.3 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 15.8 % de probabilidad de ocurrencia [fig. 40].



Fig. 41 Julio, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 8.80 m/s está en **71.9 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 5.9 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **78.2 %** de datos del mes de Julio. En la estación meteorológica del CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 8.80 m/s está en 81.6 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 17.6 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases en el mes de julio [fig. 41].



Fig. 42 Agosto, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 8.80 m/s está en **64.4 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 8.7 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **74 %** de datos del mes Agosto. La estación meteorológica del CONAGUA en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 8.80 m/s está en 68.8 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 29.6 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases en el mes de agosto [fig. 42].



Fig. 43 Septiembre, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 8.80 m/s está en **58.4 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 13.2 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **71 %** de datos del mes septiembre. En la estación meteorológica del CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1-8.80 m/s está en 65 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 32.6 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases en el mes de septiembre [fig. 43].



Fig. 44 Octubre, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 8.80 m/s está en **43.8 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 22.2 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **67 %** de datos del mes octubre. En la estación meteorológica del CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 5.70 m/s está en 33.2 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 66.3 % de probabilidad de ocurrencia [fig. 44].



Fig. 45 Noviembre, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en **58.7 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 13.7 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **73 %** de datos del mes noviembre. En la estación meteorológica del CONAGUA el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 8.80 m/s está en 49.2 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 49.4 % de probabilidad de ocurrencia [fig. 45].



Fig. 46 Diciembre, Google Earth (2012)

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en **55.5 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 18.3 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases, esto con el **74 %** de datos del mes diciembre. En la estación meteorológica del CONAGUA en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1-8.80 m/s está

en 38 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 60.3 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases en el mes de diciembre [fig. 46].

5.3 Cálculo de potencia eólica en cada Aerogenerador Vs. Vivienda

A continuación, se explicará lo que se realizó en este trabajo. Se realizaron cálculos para representar la generación de un aerogenerador de baja potencia, en una zona rural en la estación de aeropuerto y una zona urbana de la estación CONAGUA de los datos proporcionados por las mismas, tomando en cuenta una vivienda real de 2 pisos refrigeración de 5 toneladas y viven 4 personas con boiler eléctrico 3 habitaciones, 1.5 baños, cocina, comedor y sala, en la ciudad de Mexicali con estos consumos eléctricos reales, . [Tab. 17]

Mes	Consumo vivienda
Enero	123
Febrero	166
Marzo	157
Abril	427
Mayo	935
Junio	1582
Julio	2297
Agosto	1928
Septiembre	1184
Octubre	177
Noviembre	353
Diciembre	272
Total	9601

Tabla 17 Consumo en kW por mes de vivienda en Mexicali

En las tablas 18 y 19, muestran lo generado de cada mes teniendo en cuenta una eficiencia de 43 % global ($\eta = 0.433$), de las zonas seleccionadas, aeropuerto y estación CONAGUA.

Esta tabla 18 es la del aerogenerador en aeropuerto, se resalto los meses con sus respectivas tarifas de invierno y verano, y obteniendo resultados de porcentaje a cubrir en temporada de verano, invierno y anualmente (E/S = horas en servicio).

Aerogenerador 2 m/s Aeropuerto							
	Mes	Potencia kW	Cons. Vivienda kWh	HORAS E/S	kWh	% a cubrir	Fp
TARIFA INVIERNO	Enero	93.68	123	329	15.61	13%	0.07
	Febrero	73.51	166	317	12.25	7%	0.06
	Marzo	230.28	157	435	38.38	24%	0.13
	Abril	396.25	427	431	66.04	15%	0.23
TARIFA VERANO	Mayo	370.74	935	484	61.79	7%	0.19
	Junio	231.36	1582	470	38.56	2%	0.12
	Julio	247.09	2297	526	41.18	2%	0.12
	Agosto	140.43	1928	482	23.41	1%	0.07
	Septiembre	138.18	1184	437	23.03	2%	0.08
	Octubre	42.64	177	332	7.11	4%	0.03
	Noviembre	169.15	353	437	28.19	8%	0.10
	Diciembre	93.10	272	414	15.52	6%	0.06
	TOTAL	2,226.44	9,601	5094	371.07	3.86%	0.11

Resultados			
% A cubrir	kWh Gen	Consumo Vivienda kWh	Temporada
2%	195.08	8103	Verano
12%	176.00	1498	Invierno
3.86%	371.07	9601	Anual

Tabla 18 Datos Aeropuerto (E/S= En servicio)

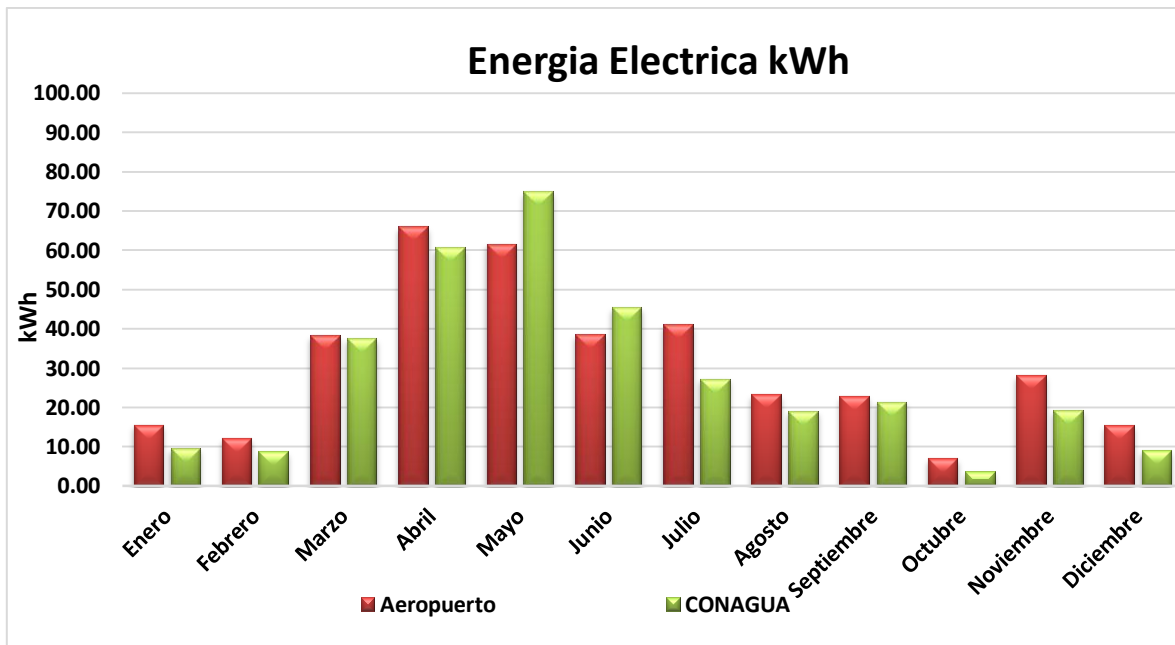
Esta tabla 19 es la del aerogenerador en zona urbana de CONAGUA, también se resaltó los meses con sus respectivas tarifas de invierno y verano, y obteniendo resultados de porcentaje a cubrir en temporada de verano, invierno y anualmente.

Aerogenerador 2 m/s CONAGUA							
	Mes	Potencia kW	Cons. Vivienda kWh	HORAS E/S	kWh	% a cubrir	Fp
TARIFA INVIERNO	Enero	58.01	123	300	9.67	8%	0.05
	Febrero	53.76	166	290	8.96	5%	0.05
	Marzo	225.58	157	501	37.60	24%	0.11
	Abril	364.05	427	556	60.67	14%	0.16
TARIFA VERANO	Mayo	450.05	935	569	75.01	8%	0.20
	Junio	273.50	1582	612	45.58	3%	0.11
	Julio	164.33	2297	615	27.39	1%	0.07
	Agosto	115.10	1928	528	19.18	1%	0.05
	Septiembre	129.36	1184	485	21.56	2%	0.07
	Octubre	22.48	177	266	3.75	2%	0.02
	Noviembre	115.81	353	374	19.30	5%	0.08
	Diciembre	54.92	272	296	9.15	3%	0.05
	TOTAL	2,026.95	9,601	5392	337.82	3.52%	0.09

Resultados			
% A cubrir	kWh Gen	Consumo Vivienda kWh	Temporada
2%	195.08	8103	Verano
12%	176.00	1498	Invierno
3.86%	371.07	9601	Anual

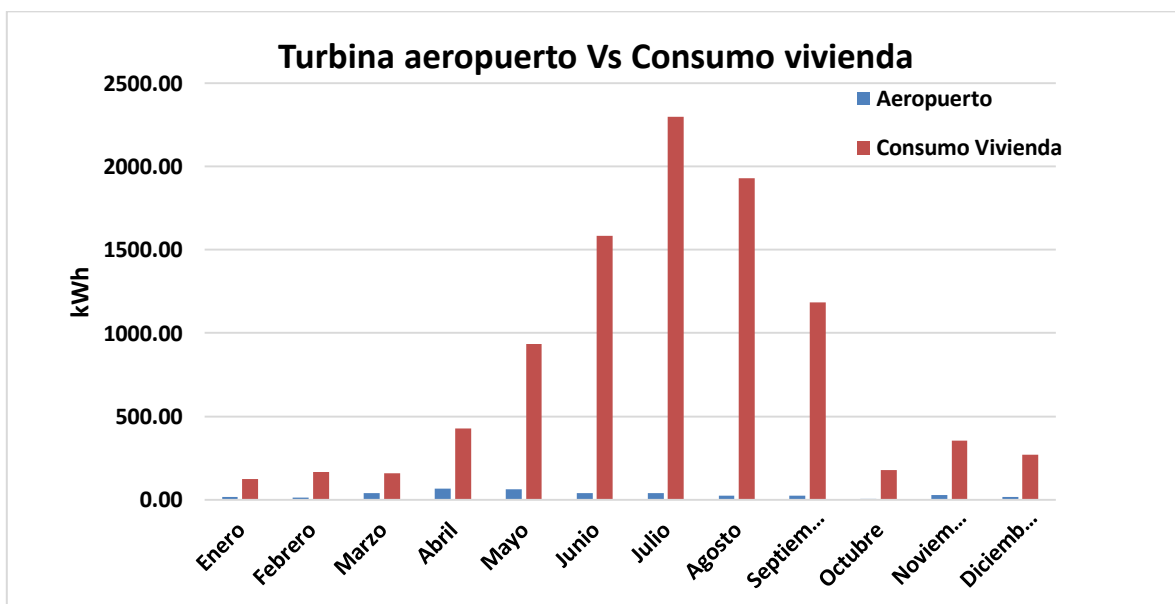
Tabla 19 Porcentaje que cubriría la vivienda con datos de CONAGUA 2014 (E/S= En servicio)

Podemos observar en la gráfica 5 que de los meses de marzo a julio son los meses con mayor generación, en los meses de mayo y junio es mayor la estación de CONAGUA con un máximo generado el mes de mayo con 75 kWh, y los demás meses es mayor la generación de la estación aeropuerto cabe recalcar que esto es con el 71% de datos con una máxima generación mensual de abril con 66 kWh.



Gráfica 5 Energía eléctrica generada en kWh en estación aeropuerto, CONAGUA 2014

En las siguientes gráficas 6 y 7 observamos el consumo de vivienda real estudiado y lo generador de la turbina con su respectiva área, y en las tablas 20 y 21 tenemos el porcentaje a cubrir de la vivienda de nuestras estaciones meteorológicas analizadas.



Gráfica 6 de consumo de una vivienda y comparación de un Aerogenerador de 4 kW

Aeropuerto	
Mes	% a cubrir
Enero	12.69%
Febrero	7.38%
Marzo	24.45%
Abril	15.47%
Mayo	6.61%
Junio	2.44%
Julio	1.79%
Agosto	1.21%
Septiembre	1.95%
Octubre	4.02%
Noviembre	7.99%
Diciembre	5.70%

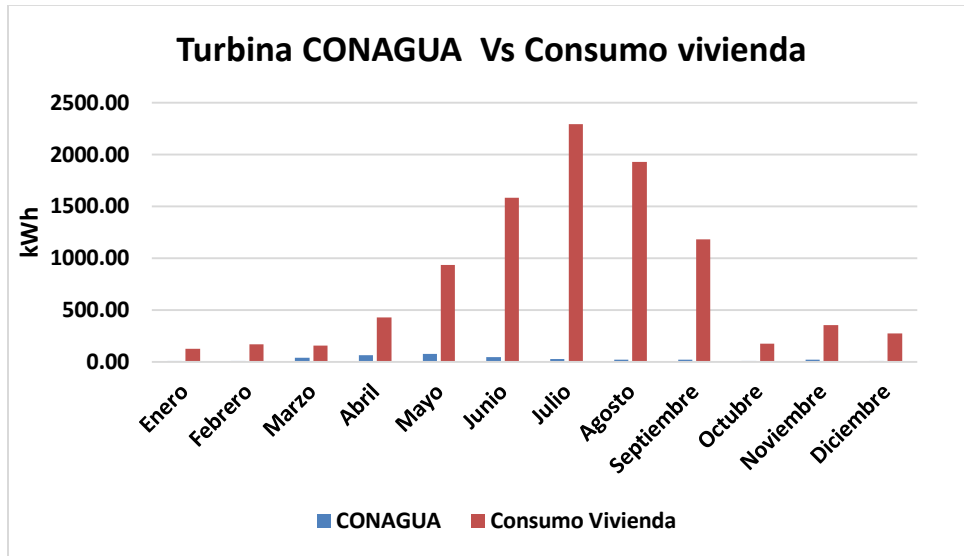
Tabla 20 Tabla de porcentaje a cubrir la turbina en aeropuerto a la vivienda estudiada.

El porcentaje que cubriría la estación de aeropuerto de Mexicali sería **3.86 % anual**, con los datos obtenidos que son el 71% del año, se observa que los meses de mayo a septiembre son de alto consumo ya que es temporada de verano y poca energía generada. [Gráfica 8]

El porcentaje que cubriría la estación de CONAGUA de Mexicali sería **3.52 % anual**, con los datos obtenidos, se observa en la gráfica 9 que los meses de mayo a septiembre son de alto consumo y poco porcentaje a cubrir como se muestra en la tabla 21, ya que es temporada de verano y los meses de invierno tenemos poco consumo y mayor energía generada de nuestra turbina.

% a cubrir CONAGUA	
Mes	% A cubrir
Enero	7.86%
Febrero	5.40%
Marzo	23.95%
Abril	14.21%
Mayo	8.02%
Junio	2.88%
Julio	1.19%
Agosto	1.00%
Septiembre	1.82%
Octubre	2.12%
Noviembre	5.47%
Diciembre	3.37%

Tabla 21 Tabla de porcentaje a cubrir la turbina en CONAGUA a la vivienda estudiada.



Gráfica 7 Potencia generada por una mini turbina contra el consumo de vivienda en Mexicali

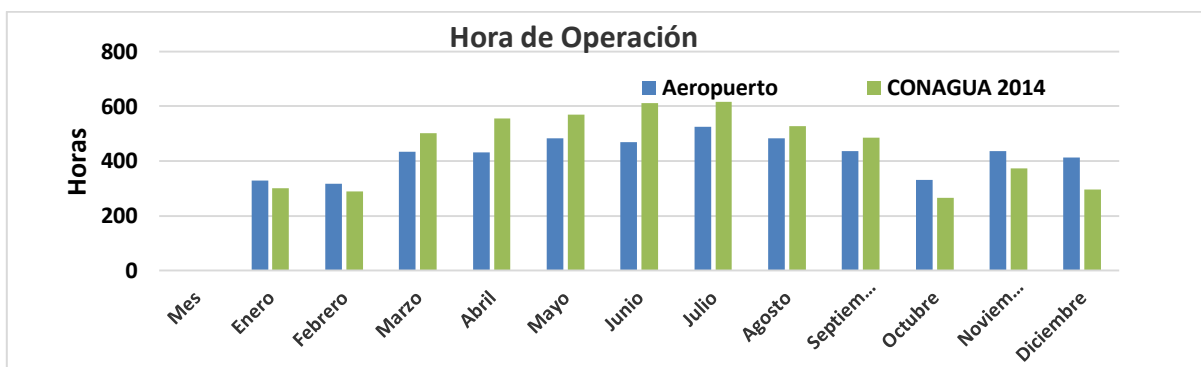
5.4 Horas de operación

Aquí en la tabla 22 observamos las horas de operación obtenidas con los datos del 71 % de aeropuerto tenemos 58 % de horas en servicio anual y respecto a CONAGUA con los 100 % de datos tenemos el 62 % una diferencia de 4 % mayor a CONAGUA .

Horas de Operación		
Mes	Aeropuerto	CONAGUA 2014
Enero	329	300
Febrero	317	290
Marzo	435	501
Abril	431	556
Mayo	484	569
Junio	470	612
Julio	526	615
Agosto	482	528
Septiembre	437	485
Octubre	332	266
Noviembre	437	374
Diciembre	414	296
Total	5094	5392
Porcentaje anual	58%	62%

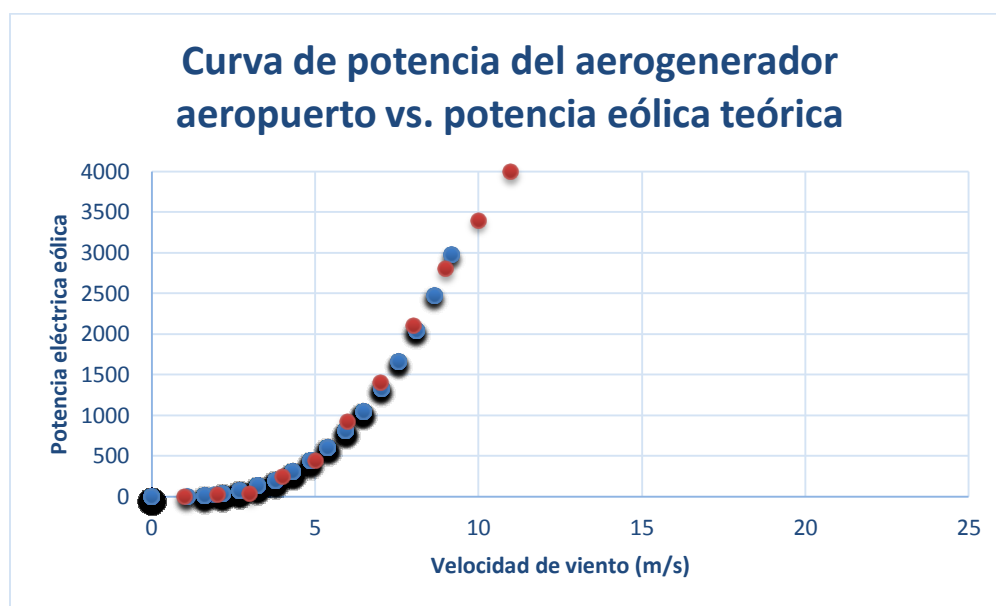
Tabla 22 Horas de Operación.

En la gráfica 8, de horas de operación de ambas estaciones, se observa que el periodo de marzo a septiembre es muy bueno, y CONAGUA muestra mayor porcentaje en servicio de turbina, y en aeropuerto es un poco más baja la operación de la turbina, pero esto se debe a que solo tenemos el 71 % de los datos anuales.

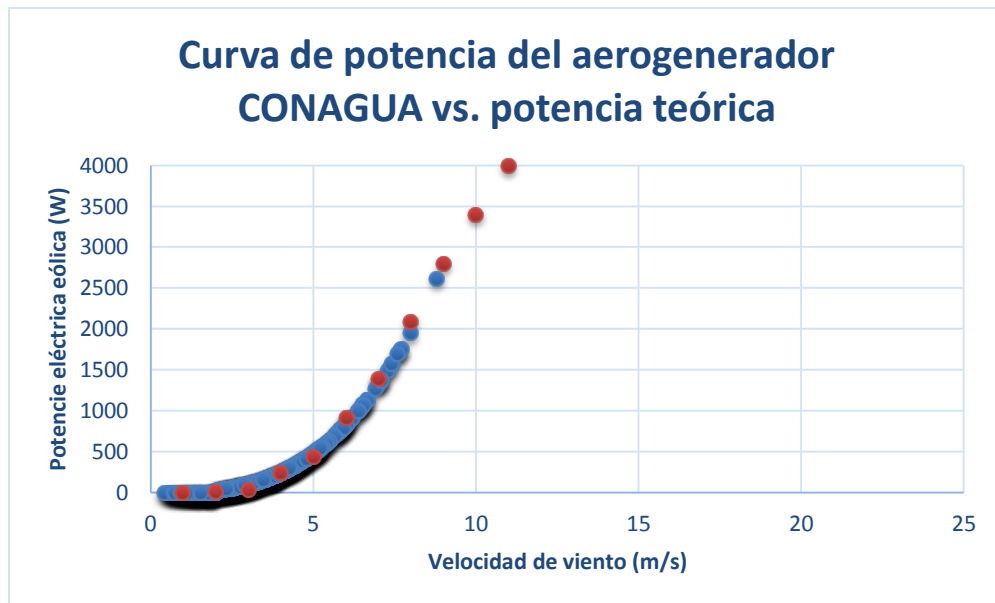


Gráfica 8 Horas de Operación.

Gráfica 9 y 10 de Potencia teorica de Aerogenerador mes de julio es el mes de mayor horas de operación de ambas estaciones y en anexo II se puede observar las gráficas de cada mes con su respectivas estaciones, mencionando que los meses de abril y mayo fueron los meses con mayor generación y se puede observar en el anexo II.



Gráfica 9 Curva de potencia aeropuerto mes de Julio vs potencia teórica.



Gráfica 10 Curva de potencia CONAGUA mes de Julio Vs Potencia teórica.

5.5 DISCUSIONES

Debemos mencionar que los datos de CONAGUA tenemos el 93 % y en la estación de aeropuerto solo tenemos el 72 % de los datos anuales del 2014, se tienen los resultados y se desglosa los meses con sus propias tarifas (invierno-verano) en Mexicali es muy diferente el consumo en verano y en invierno, en los datos de CONAGUA se observa que cubriríamos un 3.52 % anual con base en nuestra vivienda y un consumo promedio de invierno (noviembre – abril) cubriríamos un 10%, pero el consumo de veranos se eleva, como se menciona anteriormente que el 73 % del consumo es en verano (mayo - octubre), eso nos muestra que el consumo en verano sólo abastecería el 2%.

En cambio, la estación aeropuerto se observa que en cubriríamos un 3.86 % anual del consumo de nuestra vivienda analizada, y en invierno abastecería un 12 %, pero en el consumo de verano se muestra que se genera 2 % en verano, esto con sólo el 72% de datos obtenidos en la estación del aeropuerto.

Los meses con mayor aprovechamiento de energía eólica son de marzo a agosto, puede ser presencia de los vientos del monzón de Norteamérica que se muestra en los meses de verano, y anualmente tenemos 5392 horas en servicio de nuestra turbina con una velocidad de arranque de 2 m/s.

Se analizó un segundo caso, con un consumo promedio de 8,550 kWh de una vivienda promedio en Mexicali, (Suástegui Macías, J. A., Pérez Tello, C., Campbell, H. E., & Magaña Almaguer, H. D. 2013). Y se observó que hay una diferencia mayor de porcentaje a cubrir de 0.48 y 1.43% más en las estaciones de aeropuerto y CONAGUA respectivamente, pero esto porque es promedio por vivienda, y se tiene una diferencia de 1051 kWh de consumo anual con respecto a nuestra vivienda.

Estación	% A cubrir	kWh	Cons. Vivienda	Resultado
Aeropuerto	4.34%	371.07	8,550 kWh	Anual
CONAGUA	3.95%	337.82	8,550 kWh	Anual

Tabla 23 Resultados con un consumo de 8,550 kWh anuales.

El tercer caso es de una vivienda mas pequeña, esta cuenta con 2 cuartos, 1 baño, sala y cocina con comedor, donde el aire acondicionado son 2 equipos de minisplit, una de 1 tonelada, y otra de 2 toneladas, boiler de paso (gas) y vive una pareja de 30 años y 2 niños (1 y 3 años) con un consumo anual de 5,055 kWh, donde los resultados tienen mayor porcentaje a cubrir, que el primer caso analizado, pero al tener mucho menor consumo anual, esto genera un mayor porcentaje a cubrir, donde nos comprueba que si influye el consumo al tener mayor habitaciones, mayor personas viviendo.

Estación	% A cubrir	kWh	Cons. Vivienda	Resultado
Aeropuerto	7.34%	371.07	5,055 kWh	Anual
CONAGUA	6.68%	337.82	5,055 kWh	Anual

Tabla 244 Resultados con un consumo de 5,055 kWh anuales.

En la estación meteorológica de CONAGUA se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.1 - 8.80 m/s está en 59.6 % y de 0.5 – 2.1 m/s con un 39.1 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases del año 2014.

En la estación meteorológica del Aeropuerto se observa en el rango de clases de la velocidad del viento de 2.10 – 11.10 m/s está en **57.1 %** y el 0.5 – 2.10 m/s con 10.4 % de probabilidad de ocurrencia de esas clases de viento, esto con el **72 %** de datos del año 2014.

6 CONCLUSIONES

En las imágenes de comparación de rosas de los vientos se observa que la dirección predominante o mayor ocurrencia en Mexicali proviene del Noroeste y Sureste con mayor velocidad y aprovechamiento energía en las zonas.

En la zona rural (estación del Aeropuerto) con una velocidad promedio anual de 3.18 m/s, las velocidades mayores a 2 m/s tienen un 58% de probabilidad de ocurrencia esto aclarando que sólo se tiene el 71% de datos del año 2014, esto con base en las características de la zona que tiene mucho menos obstáculos para la circulación de vientos.

En la zona urbana tenemos una velocidad promedio anual de 2.83 m/s, las velocidades mayores a 2 m/s tienen un porcentaje del 59% probabilidad de ocurrencia, observamos una gran variedad de edificios y árboles. Esto ocasiona el aprovechamiento de energía eléctrica en menor medida, aunque en los meses de marzo a agosto que es superior lo generado en la estación de CONAGUA, pero esto es por los datos faltantes de la estación del Aeropuerto que se contaba con el 71% de los datos anuales y se trabajó con los datos que se tenían.

En Mexicali por las altas temperaturas del verano, una turbina de aerogenerador cubriría un 3.86 % en la zona rural con los datos que se tienen y un 3.52% en la zona urbana en el consumo de una vivienda, ya que el aire acondicionado sólo es el 30 % de consumo. En la ciudad se tienen prendido la mayor parte del día en verano y la energía eólica de baja potencia no es suficiente para cubrir estas necesidades. En cambio, si el uso del aire acondicionado no fuera necesario en estos meses y sacamos el promedio de temporada por ejemplo la temporada de invierno (noviembre – abril) se abastecería hasta un 10 a 12% de la energía necesaria en una vivienda, pero sólo el promedio de veranos se abastecería solo el 2%, ya que el consumo de verano es el 83% de nuestro consumo anual, entonces pienso que no es viable una inversión muy alta que sólo el aerogenerador enviado sale \$9,150 dls sin instalación y hablamos de un retorno a largo plazo.

Las horas de operación del aerogenerador son de 5000 a 5100 horas de operación, para la zona rural y urbana, respectivamente, esto indica que cerca del 58 al 62 % del tiempo del aerogenerador que estaría en funcionamiento. Afortunadamente las velocidades para estos resultados son de 2 m/s y en Mexicali se podría tener un buen aprovechamiento del viento, hay recurso, pero la energía eólica, aún es muy cara a comparación de otras energías renovables como la energía solar fotovoltaica.

Referencias

1. Acciona (2020). Energía eólica. España. Acciona-Energía. Disponible en: <https://www.acciona-energia.com/viewImage?i=35158>
2. Acciona, (2016). COMPLEJO EÓLICO EN OAXACA, MÉXICO. ACCIONA. Disponible: <https://www.acciona.com/es/lineas-de-negocio/energia/proyectos-emblematicos/complejo-las-oaxacas/>
3. Aeolos (2015) Especificaciones para Aerogenerador Aeolos-H 3kW. Windturbinestar. Disponible en: <https://www.windturbinestar.com/Aerogenerador-1kw.html>
4. Álvarez Báez Christian Adrián. “Vientos de Santa Ana y tormentas de polvo en el noroeste de México”. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica Y Tecnológica, A.C. junio de 2017.
5. AMBI ACUACORPS. (2012). Parque Eólico PIER II Apiaxxi. Disponible en: <http://www.apiaxxi.es/e6.html>
6. Angeles Aguirre (2012) Conoce los Parques Eólicos de México, Disponible en: <https://gstrium.com/2013/04/22/conoce-los-parques-eolicos-de-mexico/#:~:text=%20En%20donde%20hay%20parques%20e%C3%B3licos%20instalados%20en,Santo%20Domingo%20Ingenio%208%20Uni%C3%B3n%20Hidalgo%20More%20>
7. Artillo García, M. (2017). Estudio del potencial eólico y viabilidad de parque eólico en Andalucía. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91209/fichero/Borrador_Definitivo_7.pdf
8. Asociación Mexicana de Energía Eólica (2018). Parques Eólicos en operación septiembre 2018: AMMDEE página: <https://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2018>
9. Arredondo Gámez Mayra Guadalupe. “Cuantificación del potencial eólico para aplicación agrícola en el valle de Mexicali, B. C., México”. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, México. Junio de 2016.
10. Ayala, C. (2018). Puebla albergará dos parques eólicos. *El Economista*, 1.
11. Barrios, F. D. B. G. (2007). Estrategias de programación diaria y operación horaria en el mercado de la electricidad de un parque eólico dotado de un sistema acumulador de energía: proyecto fin de carrera.

22. *Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014-2017)*
<https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
23. DEL MUNICIPIO, A. A. D. R., & DE MEXICALI, B. C. (2010). Instituto de Investigaciones Sociales, UABC. Número de expediente: PROGRAMA HABITAT.
24. EL ECONOMISTA (2015) disponible en línea:
<http://eleconomista.com.mx/estados/2015/10/26/dragon-ampliara-parque-eolico-ojuelos-jalisco>
25. EL ECONOMISTA (2015,2) disponible en línea:
<http://eleconomista.com.mx/estados/2015/10/11/concluyen-parque-eolico-iler>
26. Eléctrica del Valle de México (2011). Disponible en línea:
<http://www.parqueseolicosonline.com/2011/02/el-recurso-eolico-en-mexico/>
27. Emeis, S. (2013). Wind energy meteorology, green energy and technology.
28. Enair 2020, AEROGENERADOR ENAIR 70 PRO disponible en:
 Aeronogenerador E70PRO - La última tecnología (enair.es)
29. Energy&comerce agosto 2020 Disponible en:
<https://energyandcommerce.com.mx/inauguran-parque-eolico-en-yucatan-de-155-mdd/#:~:text=Inauguran%20parque%20e%C3%B3lico%20en%20Yucat%C3%A1n%20de%20155%20mdd,-by%20Efrain%20Mariano&text=Se%20inaugur%C3%B3%20el%20Parque%20E%C3%B3lico,de%20155%20millones%20de%20d%C3%B3lares.&text=El%20parque%20e%C3%B3lico%20se%20alimentar%C3%A1,de%20rotor%20de%20110%20metros.>
30. Fernández Ribaya, Y. (2012). Sistema Híbrido (Solar-Eólico) con apoyo de gas natural para la generación de energía eléctrica en Baja California Sur (México).
31. García, R., Santillán, N., Ojeda, S., et al. (2012). Escenarios de temperaturas extremas en Mexicali, México; bajo condiciones de cambio climático. Paper presented at the 8vo Congreso Internacional, Cambio climático. Extremos e impactos, Salamanca, España.
32. GLOBAL, W. E. C. G. (2019). GWEC-Global-Wind-Report-2018. Disponible en:
<https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf>

33. GLOBAL, W. E. C. G. (2015). GWEC-Global-Wind-Report-2015. Disponible en: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf
34. González, J. M. G., Saldivar, V. M. G., González, A. E., & Cabrera, L. A. C. P. (2018). Valoración del recurso eólico del municipio de Villa de Cos, del Estado de Zacatecas. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9(21), 1474-1483.
35. Guerrero, F. G. R. (2017). Biodiversity impacts from wind parks in the northeastern part of Mexico. *Política, Globalidad y Ciudadanía*, 3(6), 41
36. Gutiérrez Fernández, C. (2007). Estación meteorológica basada en una interfaz directa sensor-microcontrolador.
37. INE, S. (2000). Programa para mejorar la calidad del aire de Mexicali 2000-2005. *Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. Secretaria de Salud. Gobierno del Estado de Baja California. Municipio de Mexicali. Delegación Federal SEMARNAP Baja California.*
38. INIECO, (2015). "Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada", editorial vértice, España.
39. Jesús Vázquez (2015). Aldesa iniciará parques eólicos en Yucatán. El economista. Disponible: <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Aldesa-iniciara-parques-eolicos-en-Yucatan-20150906-0109.html>
40. Justus, C. G. (1978). Winds and wind system engineering.
41. Letcher, T. M. (2017). *Wind energy engineering: a handbook for onshore and offshore wind turbines*. Academic Press.
42. Machado, M. Z., Sánchez, E. L., & ARISTA, A. A. L. (2010). Recurso eólico en Baja California.
43. Manwell, J. F., McCowan, J. G., & Rogers, A. L. (2002). Wind Energy Explained: theory, design and application. *Wind engineering*, 30(2), 169.
44. Miguel Hernández (2016) ILER Construirá parque Eólico en Puebla. El Economista.
45. NEWSROOM (2015). El recurso eólico en México. disponible: <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/la-energia-eolica-crece-en-el-mundo/>

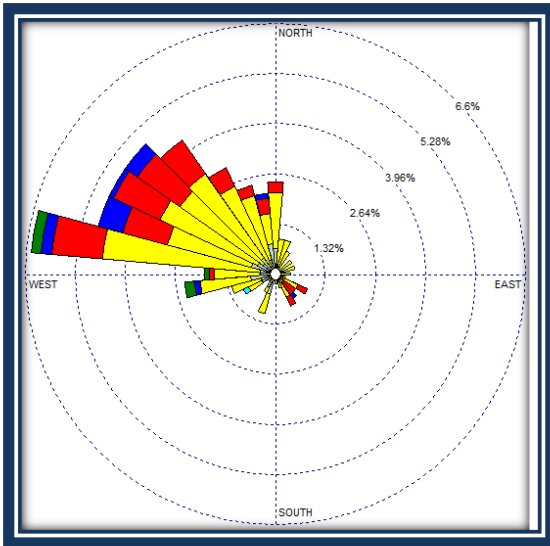
46. Nicolle De Leon (2016). Llevan energía limpia a comunidad sin servicio eléctrico. Mexicali, Baja California: LA CRONICA. Disponible en línea: <http://www.lacronica.com/EdicionEnLinea/Notas/Noticias/17022016/1054782-Llevan-energia-limpia-a-comunidad-sin-servicio-electrico.html>
47. Notimex (2014). Vientos de Santa Ana alcanzan 95 kilómetros por hora: Cicese. Unimexicali. <https://www.unimexicali.com/noticias/mexico/269456/vientos-de-santa-ana-alcanzan-95-kilometros-por-hora-cicese.html>
48. Outlook, B. E. (2019). 2019 edition. London, United Kingdom 2019.
49. López, M. B., Barrero, D., & Garzón, S. (2015). Sistema de Control para Aerogeneradores Empleando Lógica Difusa. *Universidad de la Salle, Bogotá*.
50. Patricia Romo (2015). Dragón ampliará parque eólico en Ojuelos, Jalisco. El Economista. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/estados/Dragon-ampliara-parque-eolico-en-Ojuelos-Jalisco-20151026-0146.html>
51. Plumer, B. (2017). ¿Qué es el acuerdo de París?. Nueva York: New York Times. Disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2017/06/01/que-es-el-acuerdo-de-paris/>
52. Rebeca Ramírez. (2015). Arranca la construcción del Parque Eólico Coahuila en General Cepeda. Vanguardia Sitio web: <https://vanguardia.com.mx/articulo/arranca-la-construccion-del-parque-eolico-coahuila-en-general-cepeda>
53. Ribera, T., & Olabe Egaña, A. (2015). La cumbre del clima en París. DT, 3, 2015.
54. Sawyer S. (2016). Global Wind Report, Annual Market Update 2016. Ulaanbaatar, Mongolia: Global Wind Energy Council. Disponible en: https://www.indianwindpower.com/pdf/GWEC_Global_Wind_2016_Report.pdf
55. Saúl Osuna (2014). Energía Eólica. UNIEE Disponible en: <http://profesaulosuna.com/data/files/ENERGIA%20RENOVABLES/EEOLICA/UNIEE.pdf>
56. Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2014. REGLAMENTO DEL SERVICIO METEOROLÓGICO AERONÁUTICO 2014 Disponible en: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/9_Reglamento_del_Servicio_Meteorologico_Aeronautico.pdf

57. Servicio Meteorológico Nacional SMN (2015) Descripción de una Estación Meteorológica. CONAGUA. Disponible en: <http://smn1.conagua.gob.mx/emas/estacion.html>
58. Sísmico, R. Localización de un sismo.
59. Schwartz, M. N., & Elliott, D. L. (1995). *Mexico wind resource assessment project* (No. NREL/TP-441-7809; CONF-950309-5). National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States).
60. SEE (2019) Suspenden clases en Tijuana, Tecate y Rosarito por vientos de Santa Ana. Noticiero Televisa. Disponible en: <https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/suspenden-clases-tijuana-tecate-rosarito-vientos-santa-ana/SEE VIENTOS SANTANA>
61. Torres Morales Ana Lilia. “Simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico de baja potencia para abastecer el consumo eléctrico en el sector residencial de Mexicali Baja California”. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California, julio de 2013.
62. UNFCC (2015) La energía Eólica crece en el mundo.
63. Reyes, S., Douglas, M. W., & Maddox, R. A. (2009). El monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON/SWAMP). *Atmósfera*, 7(2).
64. José Luis Pueyo Serrano (2016) disponible en: <https://calculosolar.com/curso/contacto.html>
65. Vega, M. A. G., & Santiago, N. L. (2016). Corporaciones transnacionales y desarrollo local: el caso de los parques eólicos en Oaxaca. *Revista Iberoamericana de Estudios Municipales*, (13), 41-61.
66. VOLKER, S. C., HARRIS, J. A., VOLKER, J. M., EICHENBERG, M. B., & VOLKER, L. O. O. S. C. THE PROTECT OUR COMMUNITIES FOUNDATION, BACKCOUNTRY AGAINST DUMPS, and DONNA TISDALE.
67. Zamora, M., Lambert, A., & Montero, G. (2014). Effect of some meteorological phenomena on the wind potential of Baja California. *Energy procedia*, 57, 1327-1336.

Anexo I Rosa de los vientos

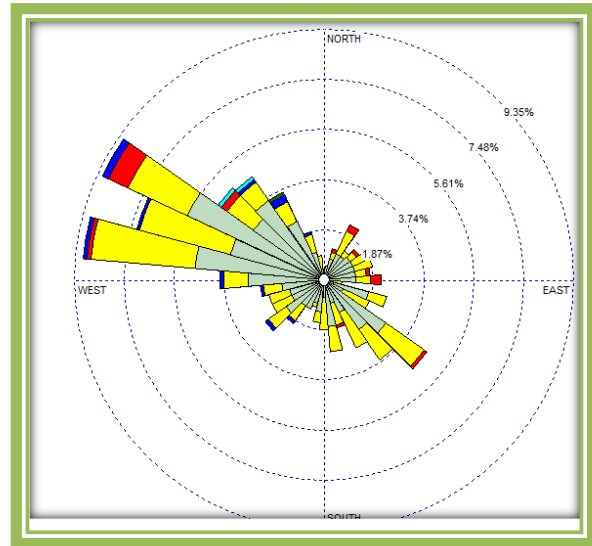
ENERO

Aeropuerto

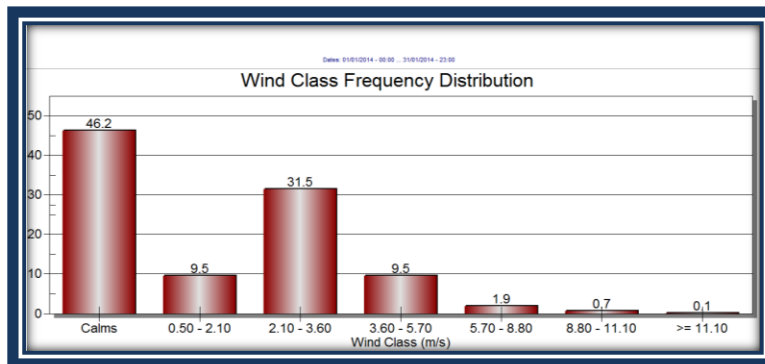


Anexo 1 Rosa de los vientos aeropuerto

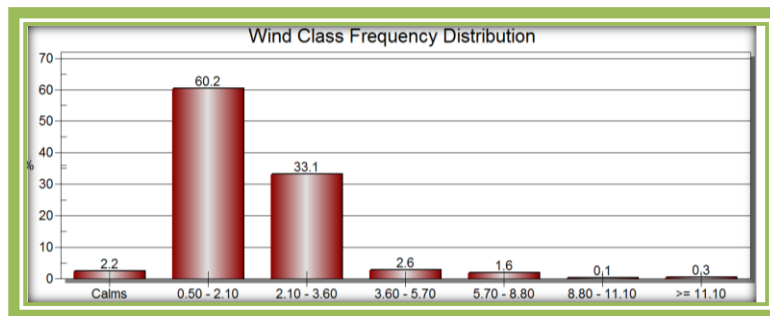
CONAGUA



Anexo 2 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 3 Distribución de frecuencia aeropuerto

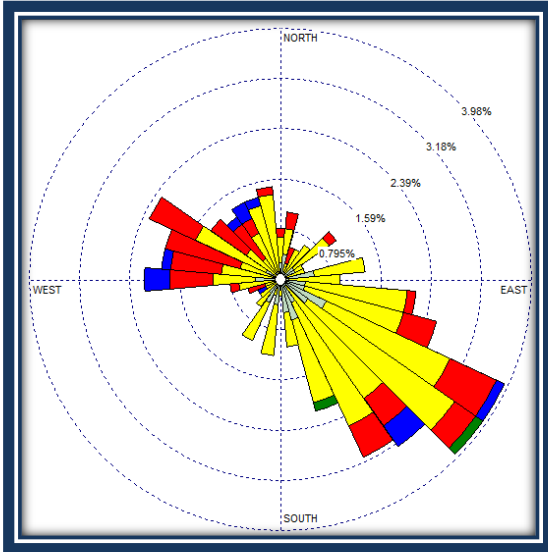


Anexo 4 Distribución de frecuencia CONAGUA

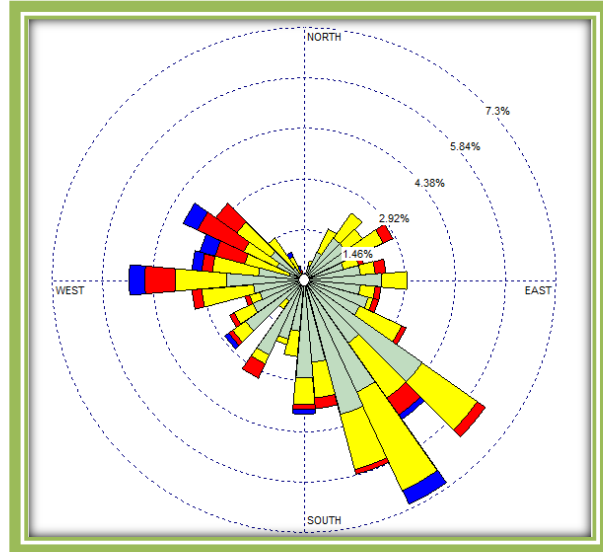
FEBRERO

Aeropuerto

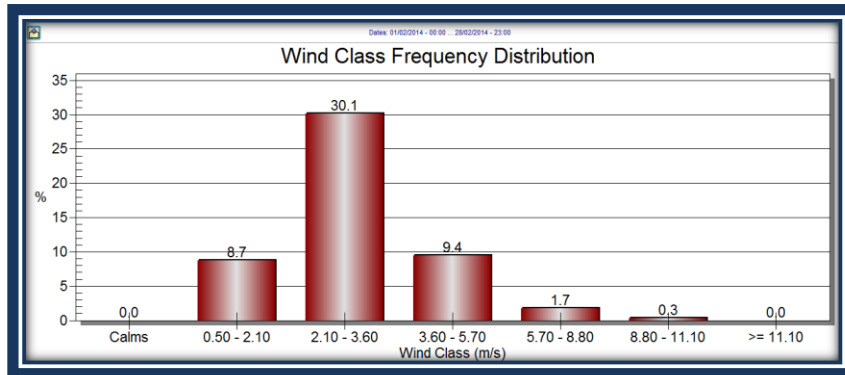
CONAGUA



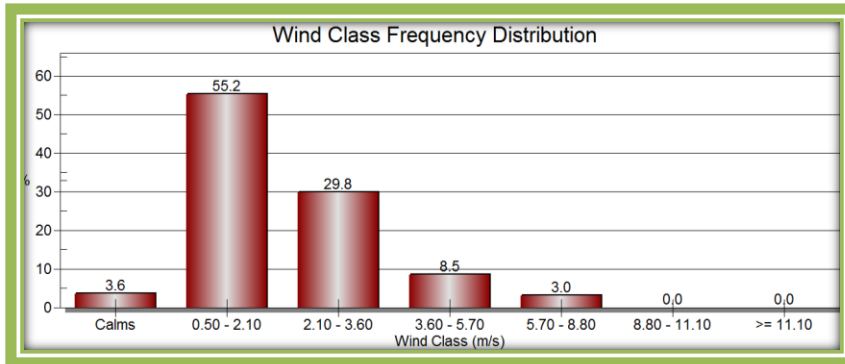
Anexo 5 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 6 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 7 Distribución de frecuencia aeropuerto

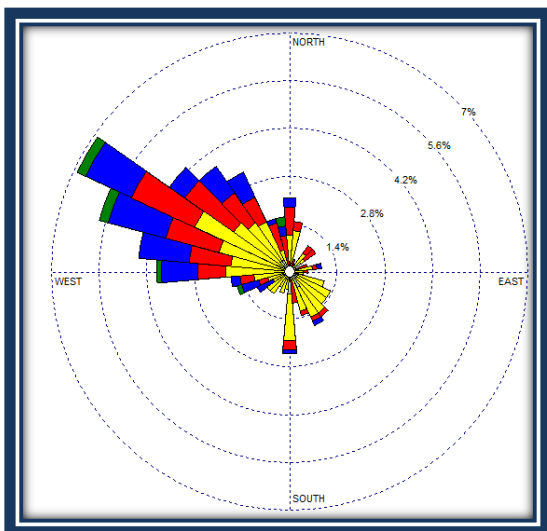


Anexo 8 Distribución de frecuencia CONAGUA

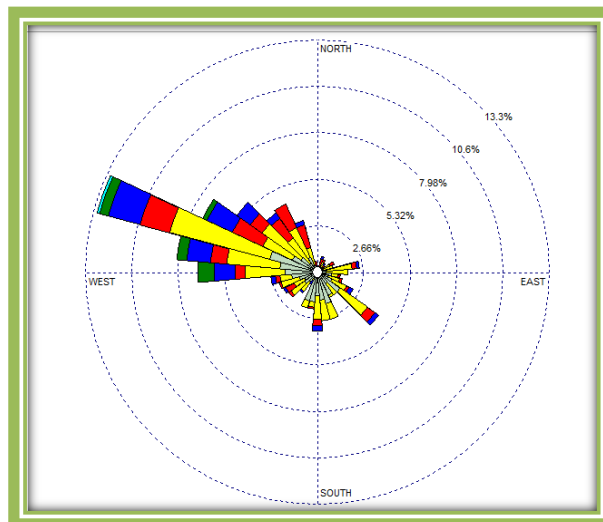
MARZO

Aeropuerto

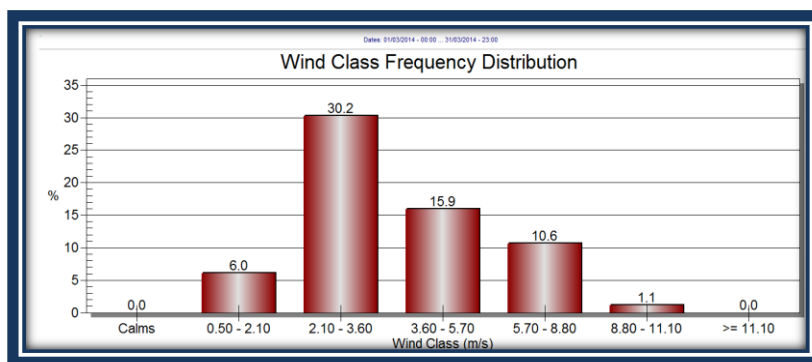
CONAGUA



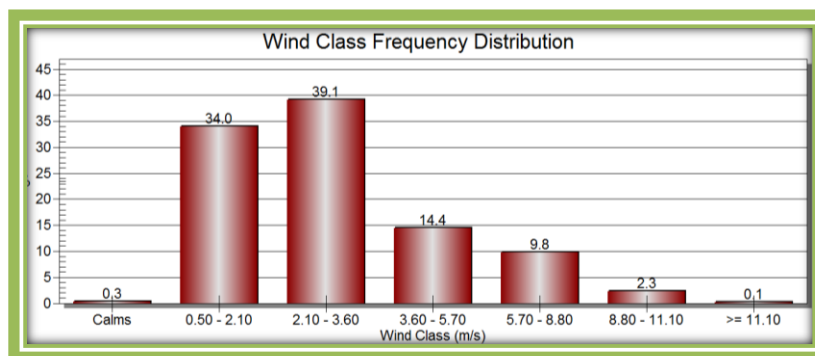
Anexo 9 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 10 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 11 Distribución de frecuencia aeropuerto

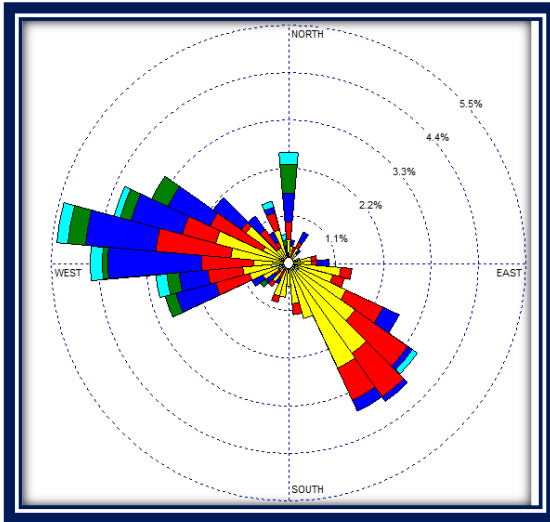


Anexo 12 Distribución de frecuencia CONAGUA

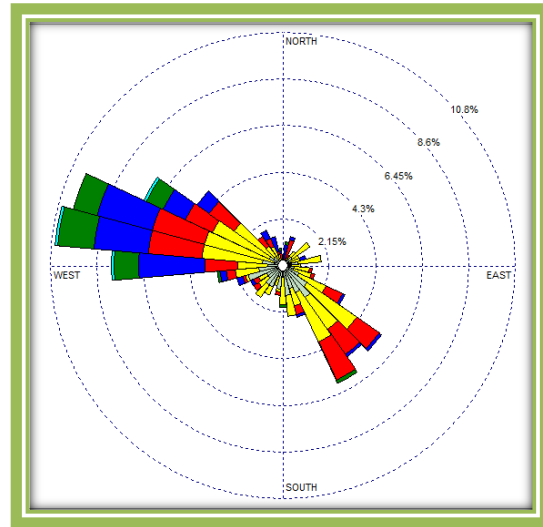
ABRIL

Aeropuerto

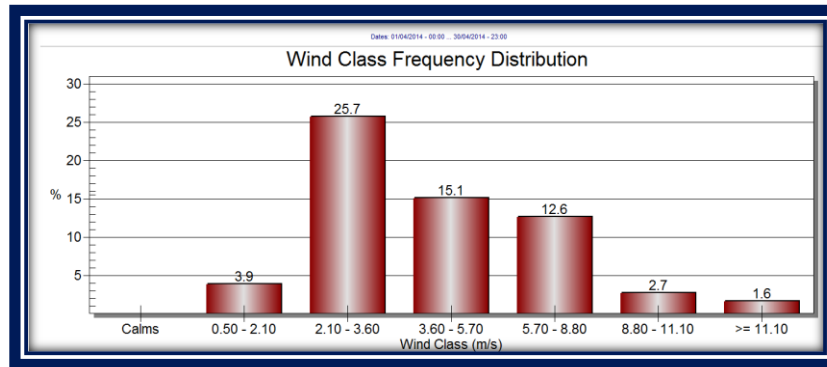
CONAGUA



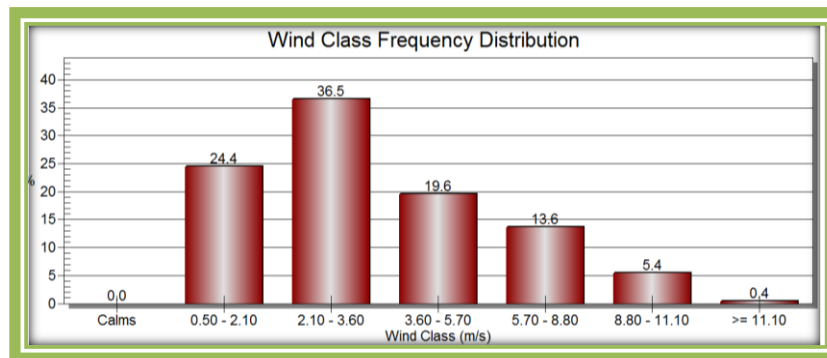
Anexo 13 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 14 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 15 Distribución de frecuencia aeropuerto

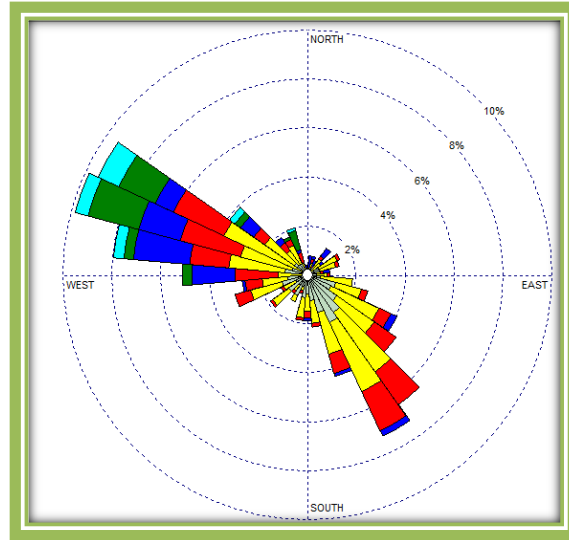
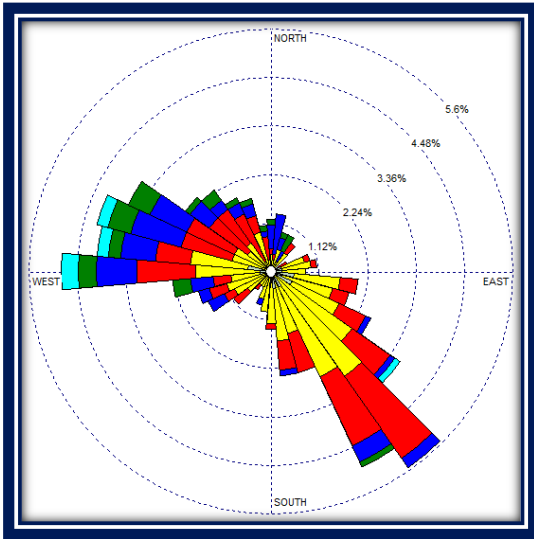


Anexo 16 Distribución de frecuencia CONAGUA

MAYO

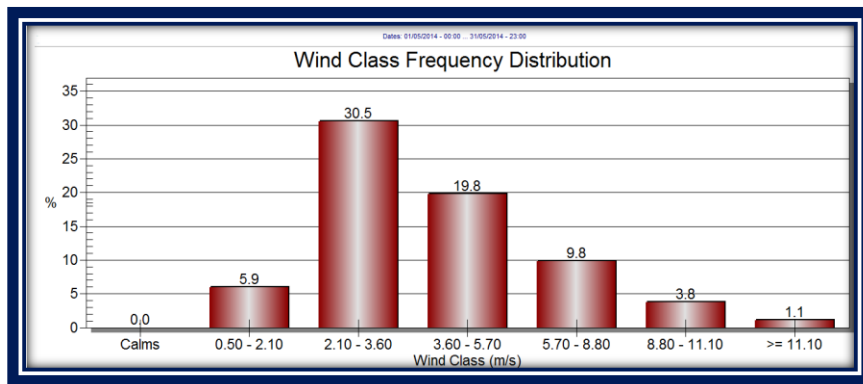
Aeropuerto

CONAGUA

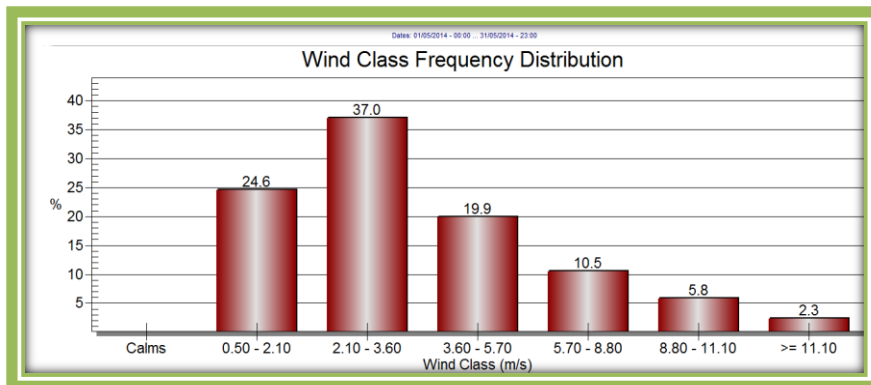


Anexo 17 Rosa de los vientos aeropuerto

Anexo 18 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 19 Distribución de frecuencia aeropuerto

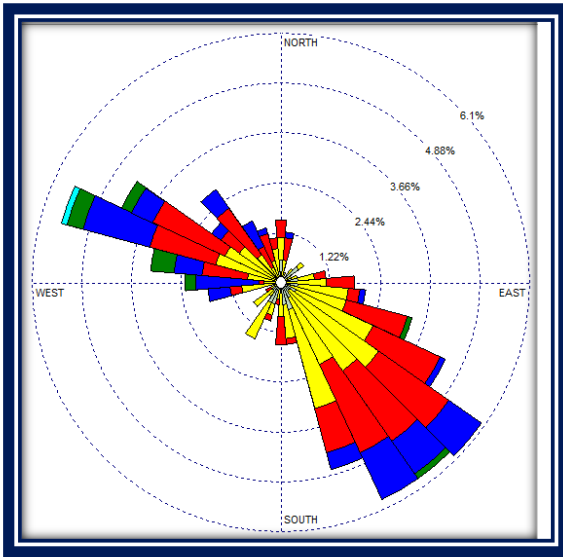


Anexo 20 Distribución de frecuencia CONAGUA

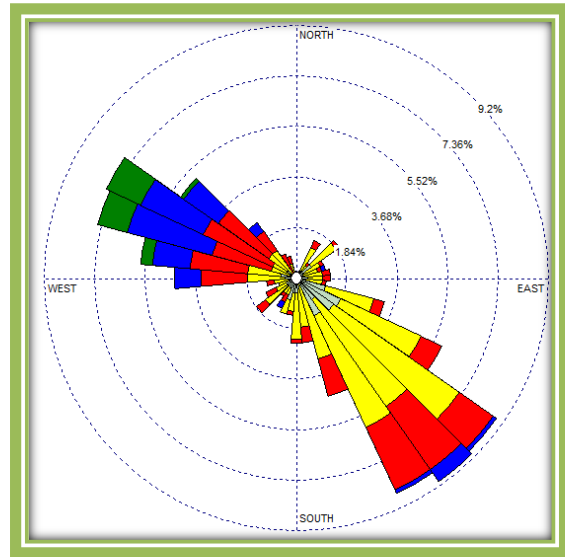
JUNIO

Aeropuerto

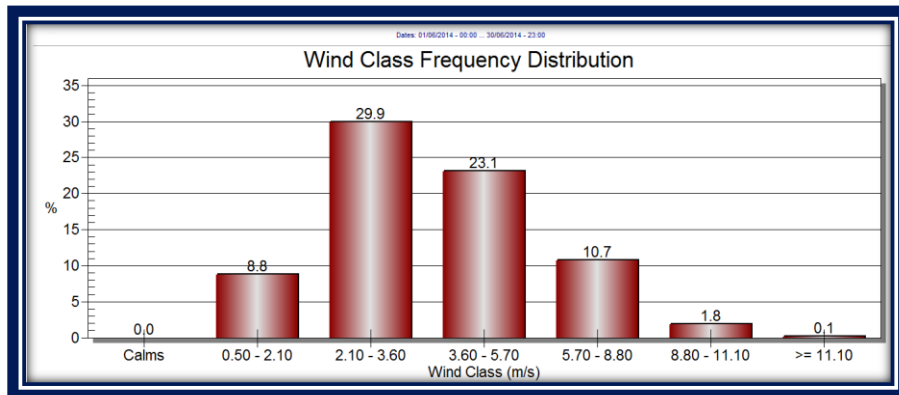
CONAGUA



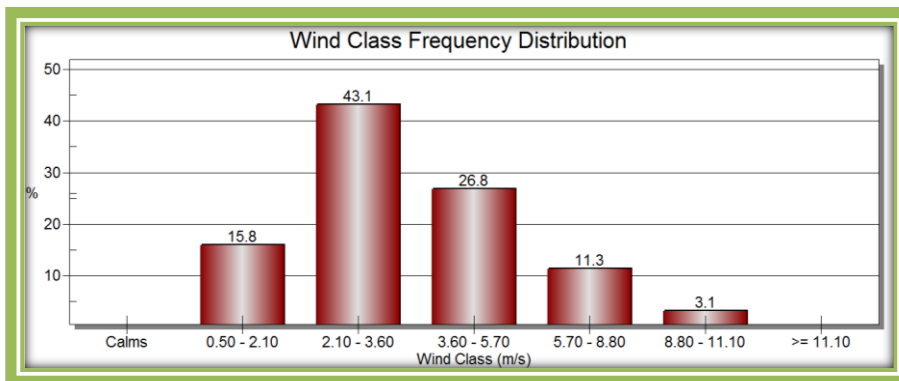
Anexo 21 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 22 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 23 Distribución de frecuencia aeropuerto

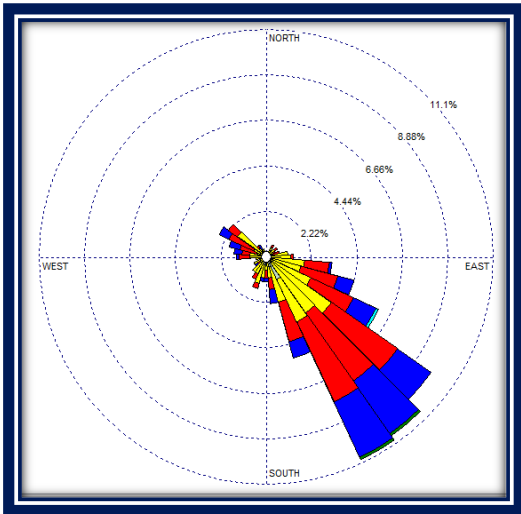


Anexo 24 Distribución de frecuencia CONAGUA

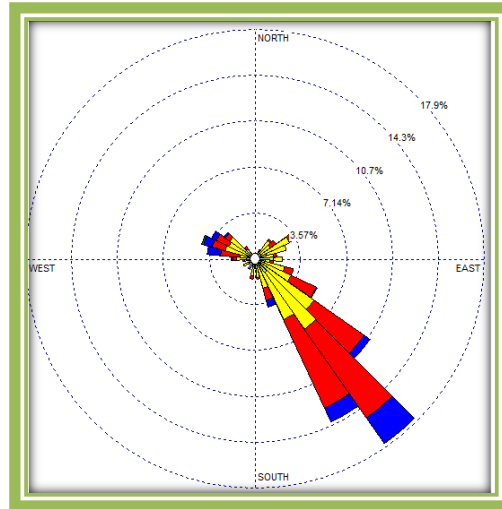
JULIO

Aeropuerto

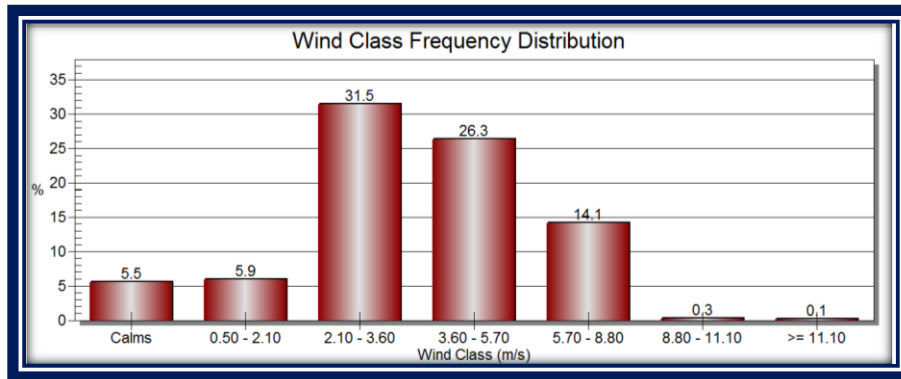
CONAGUA



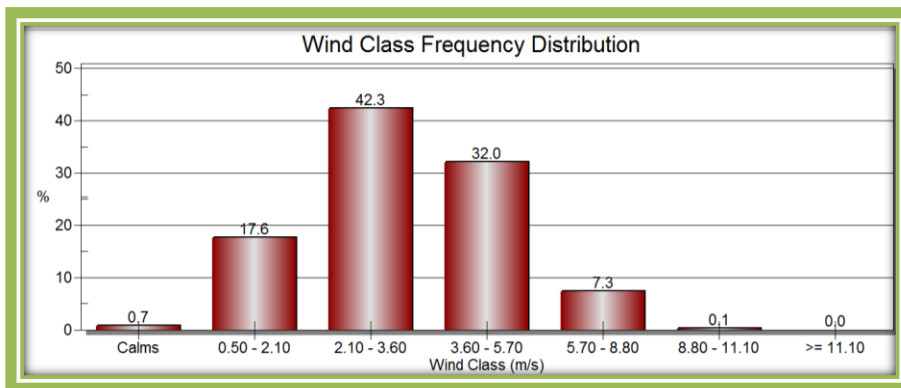
Anexo 25 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 26 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 27 Distribución de frecuencia aeropuerto

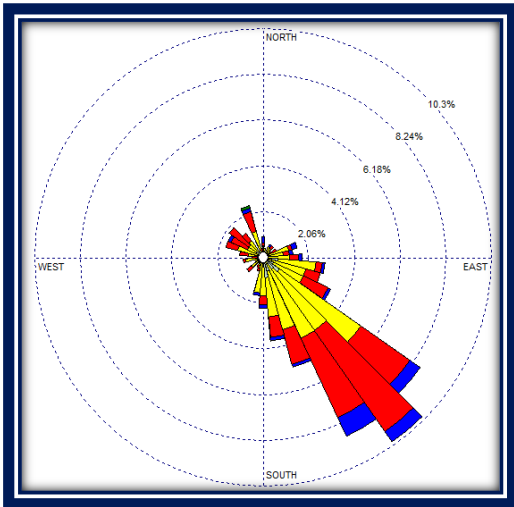


Anexo 28 Distribución de frecuencia CONAGUA

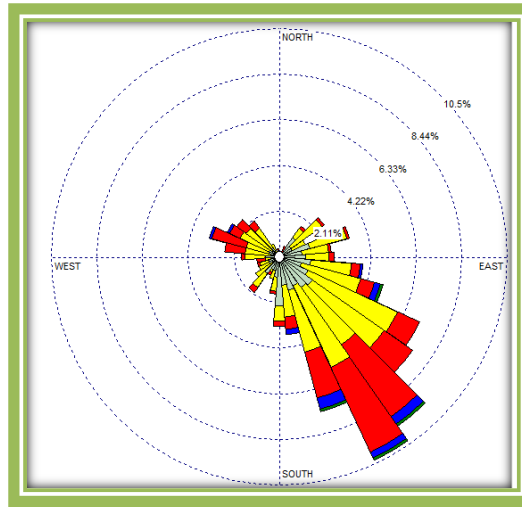
AGOSTO

Aeropuerto

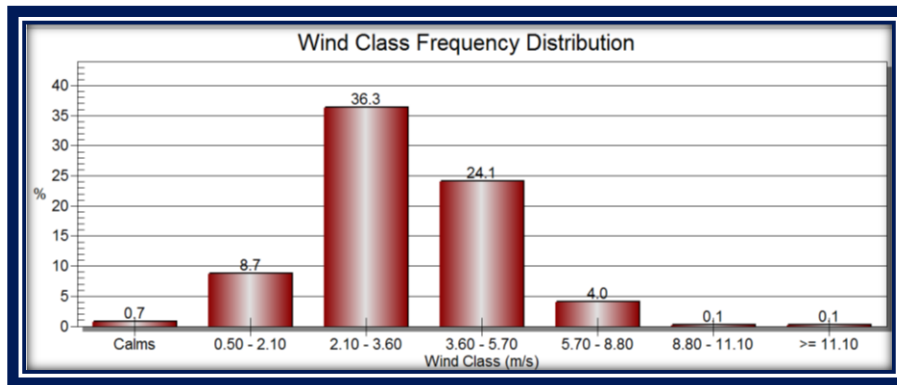
CONAGUA



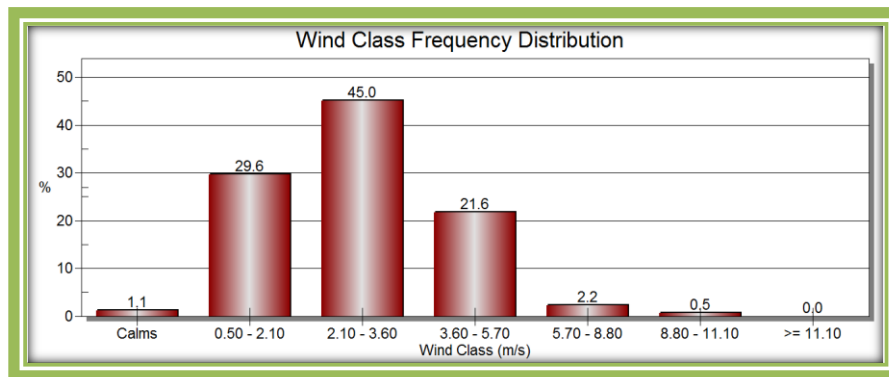
Anexo 29 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 30 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 31 Distribución de frecuencia aeropuerto

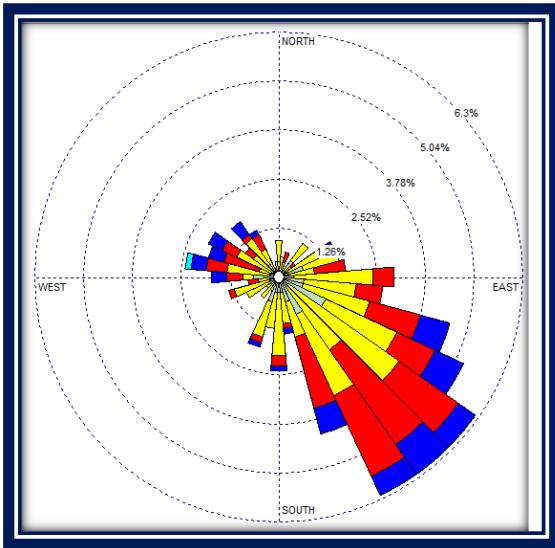


Anexo 32 Distribución de frecuencia CONAGUA

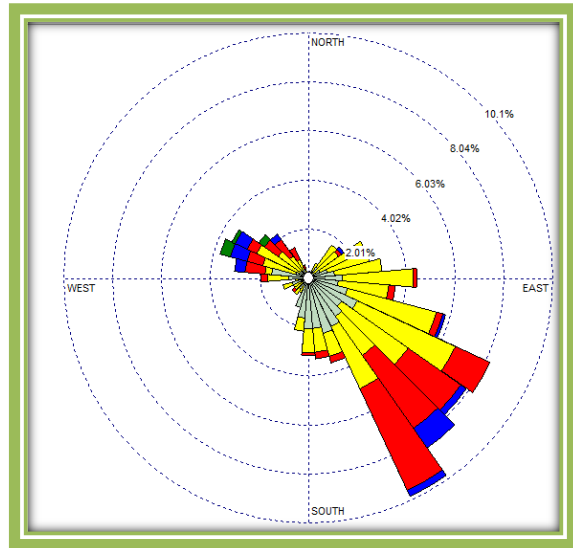
SEPTIEMBRE

Aeropuerto

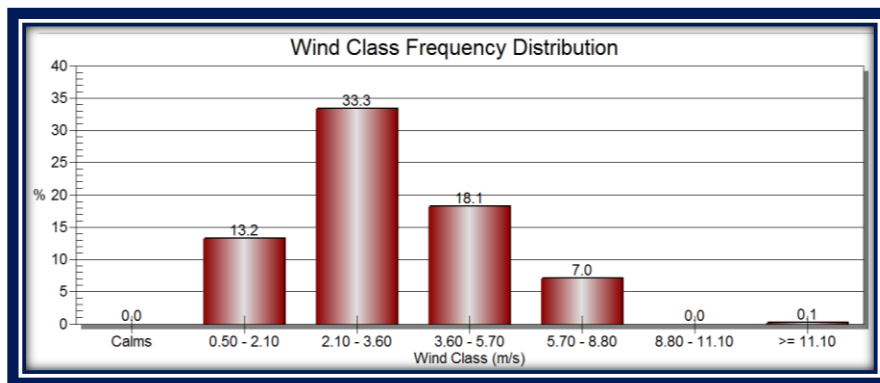
CONAGUA



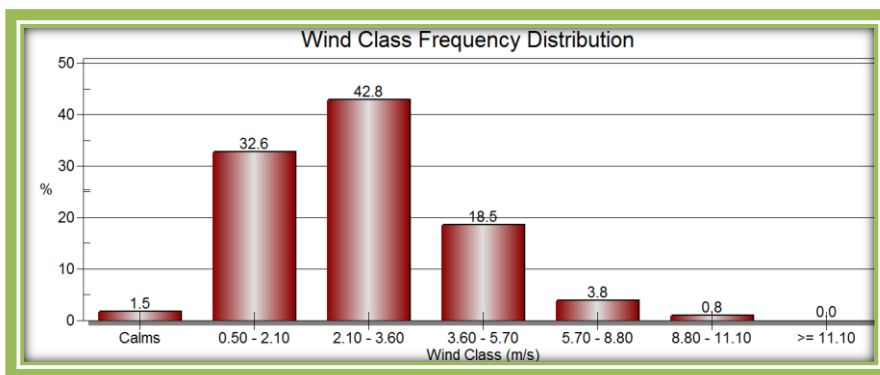
Anexo 33 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 34 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 35 Distribución de frecuencia aeropuerto

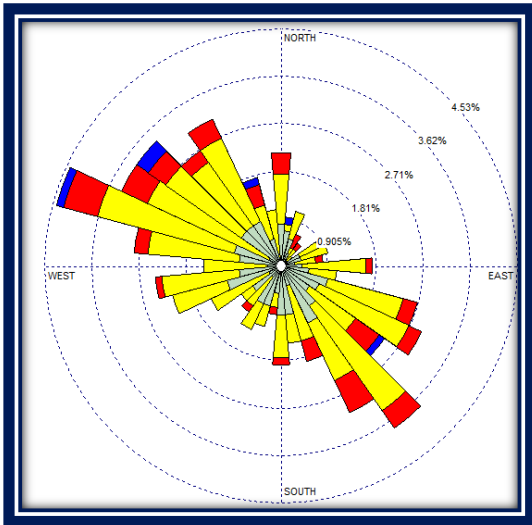


Anexo 36 Distribución de frecuencia CONAGUA

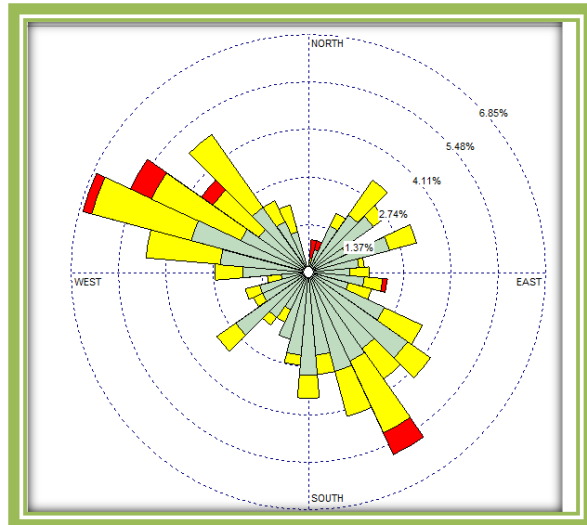
Octubre

Aeropuerto

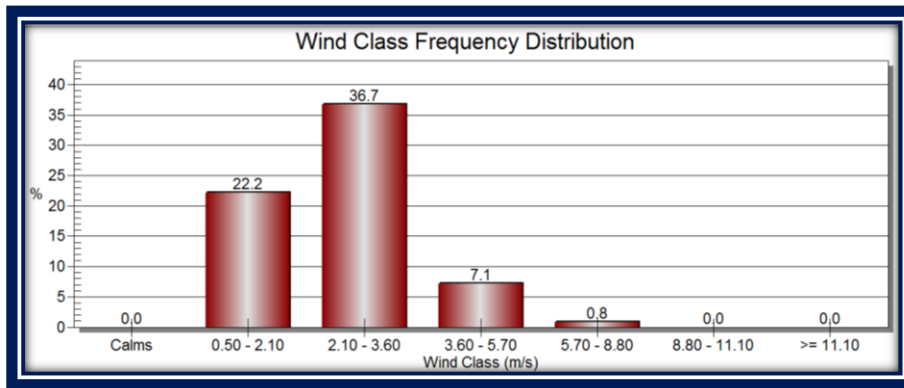
CONAGUA



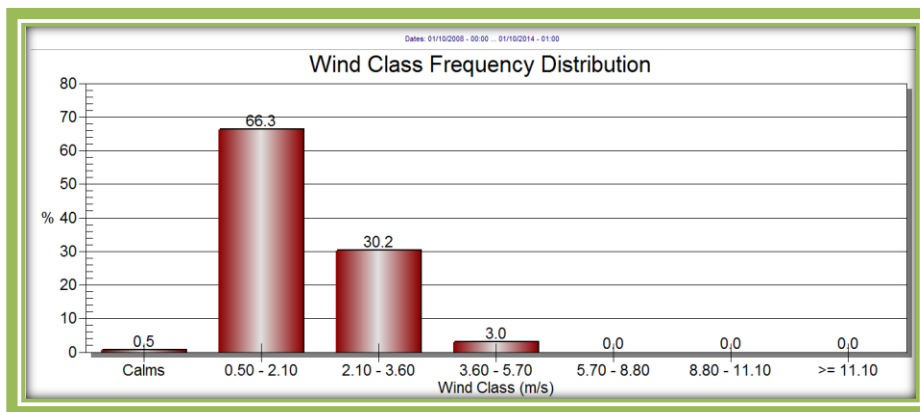
Anexo 37 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 38 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 39 Distribución de frecuencia aeropuerto

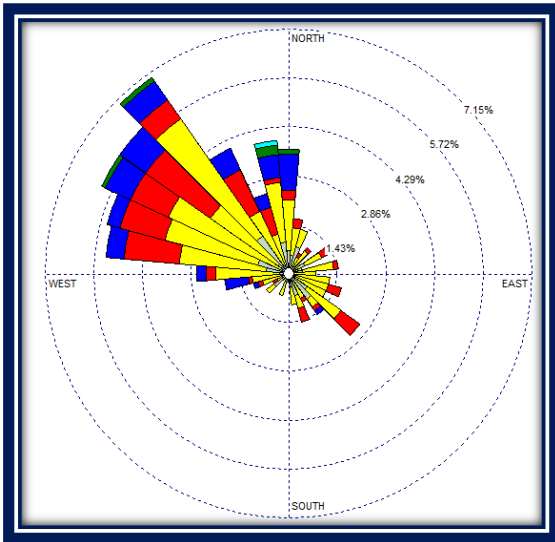


Anexo 40 Distribución de frecuencia CONAGUA

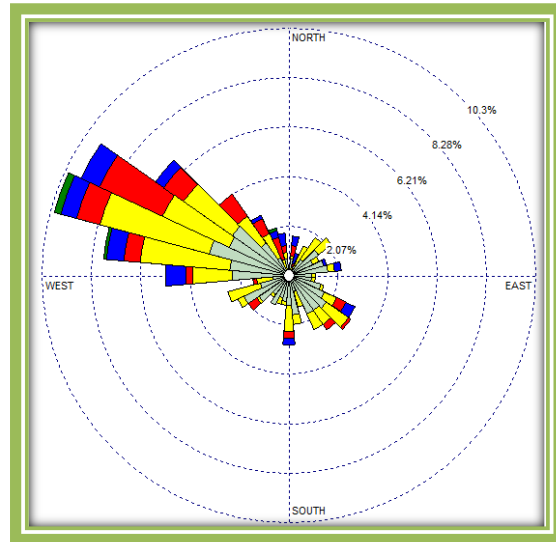
NOVIEMBRE

Aeropuerto

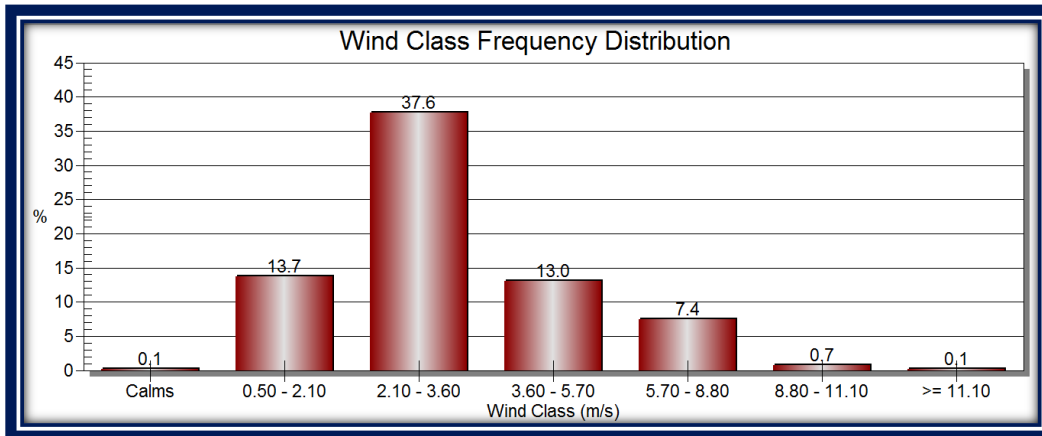
CONAGUA



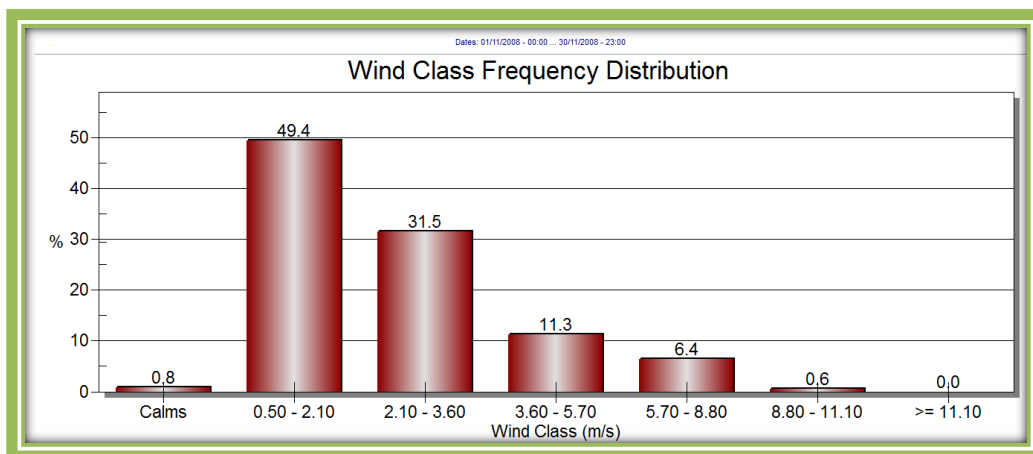
Anexo 41 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 42 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 43 Distribución de frecuencia aeropuerto

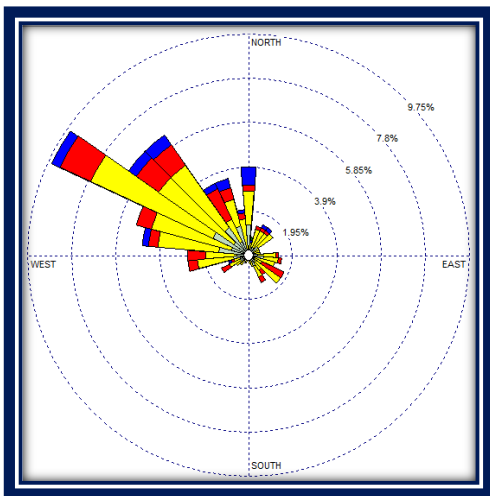


Anexo 44 Distribución de frecuencia CONAGUA

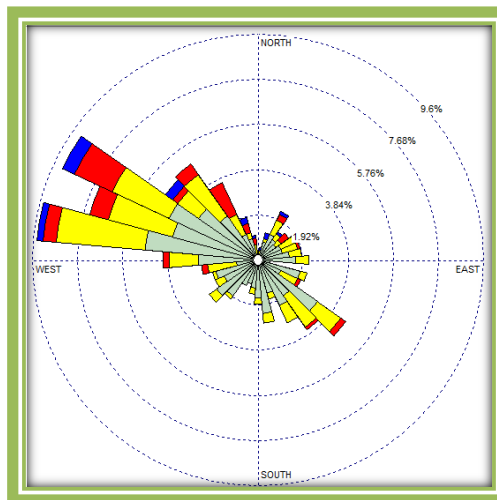
DICIEMBRE

Aeropuerto

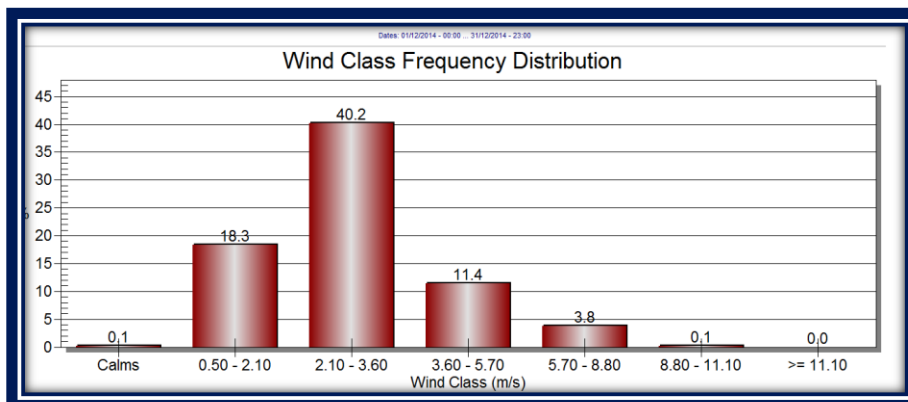
CONAGUA



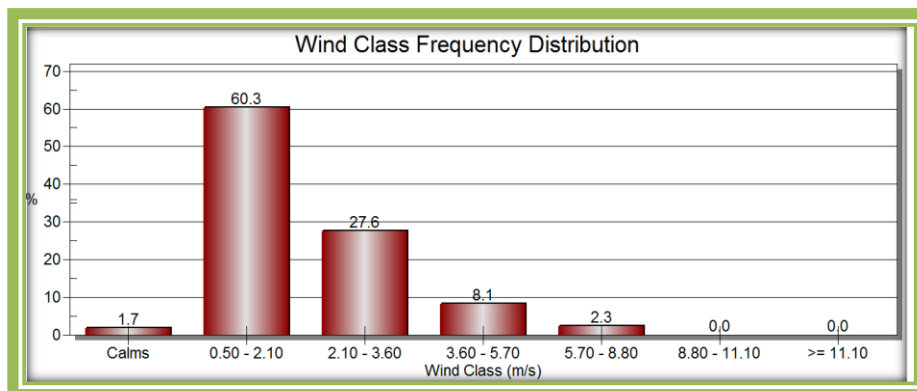
Anexo 45 Rosa de los vientos aeropuerto



Anexo 46 Rosa de los vientos CONAGUA



Anexo 47 Distribución de frecuencia aeropuerto



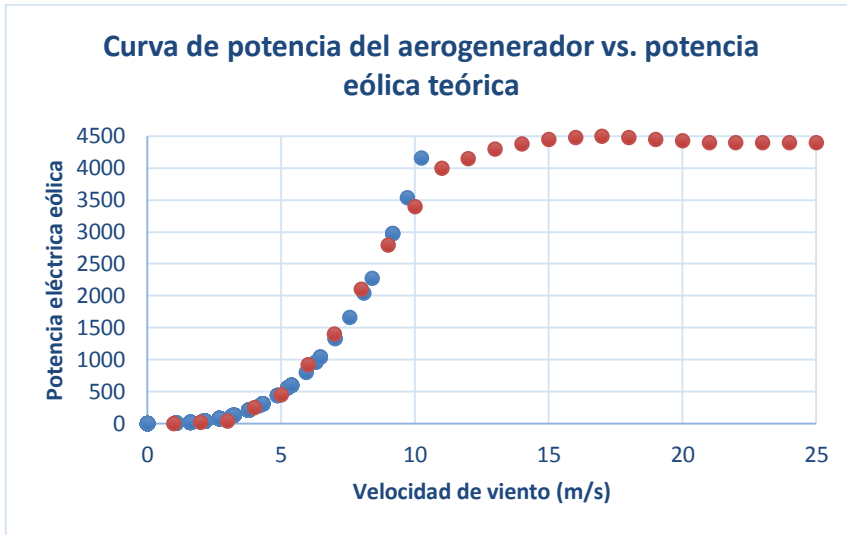
Anexo 48 Distribución de frecuencia CONAGUA

ANEXO II

Curva de potencia del aerogenerador vs potencia eólica teórica

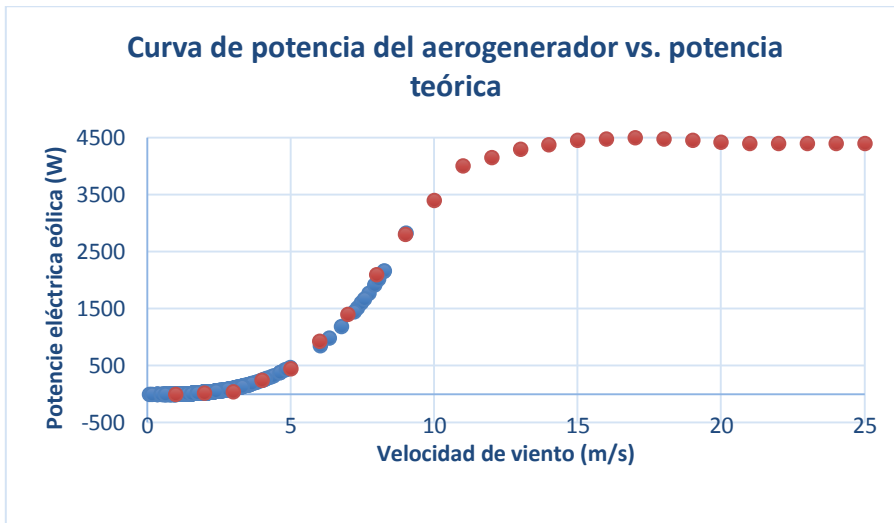
Enero

Aeropuerto



Anexo 2. 1 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

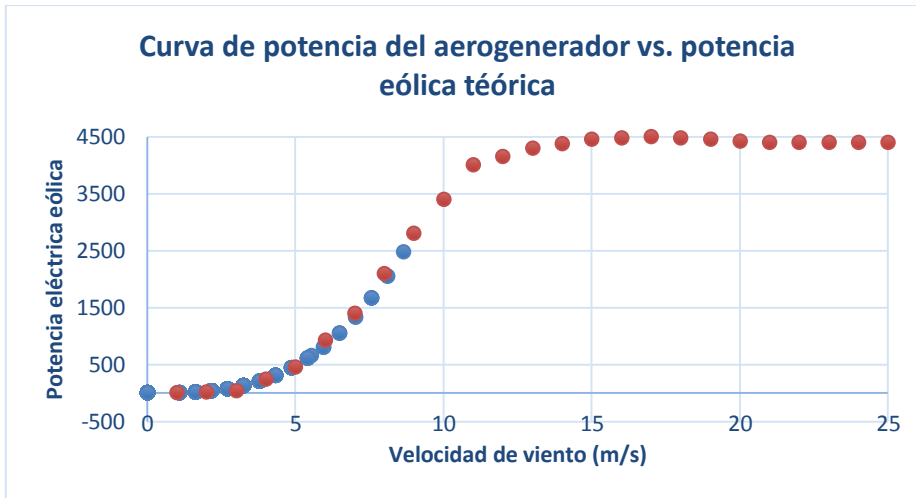
CONAGUA



Anexo 2. 2 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

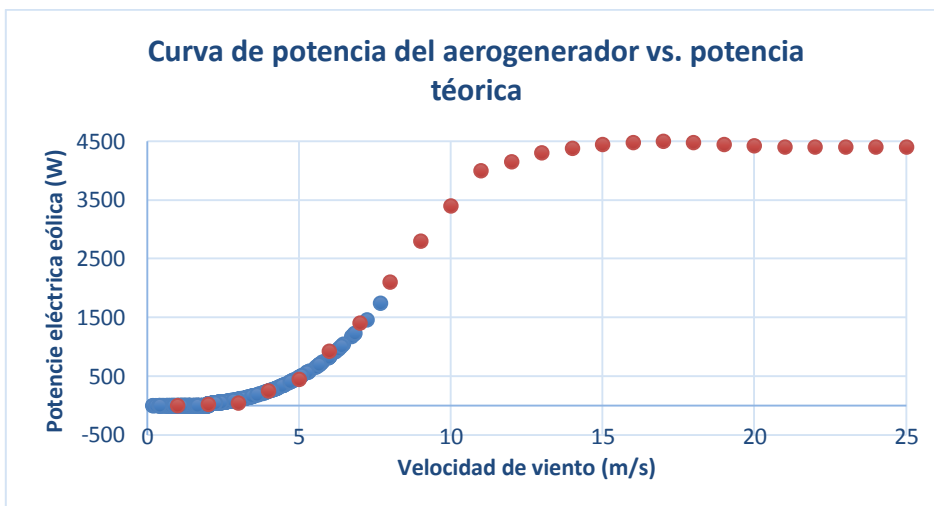
Febrero

Aeropuerto



Anexo 2. 3 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

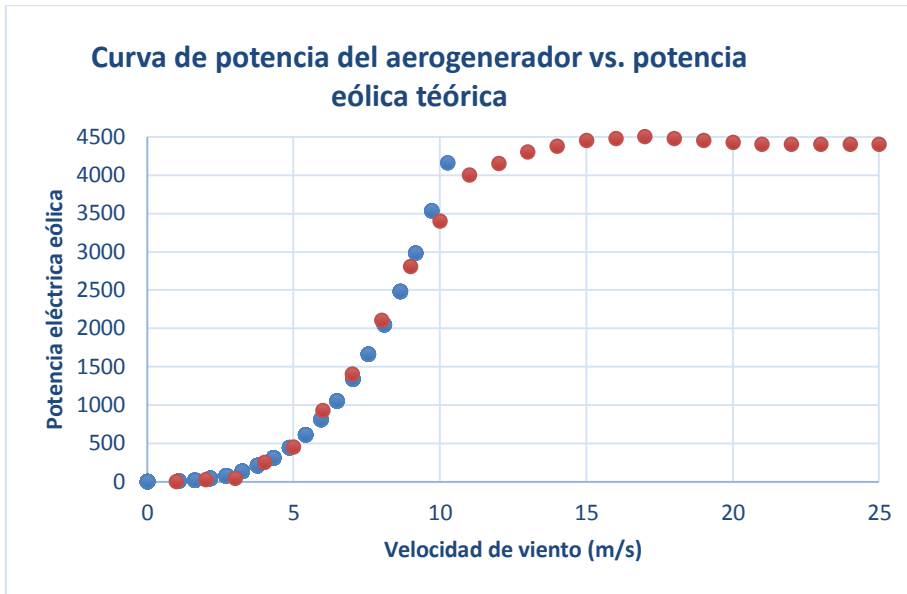
CONAGUA



Anexo 2. 4 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

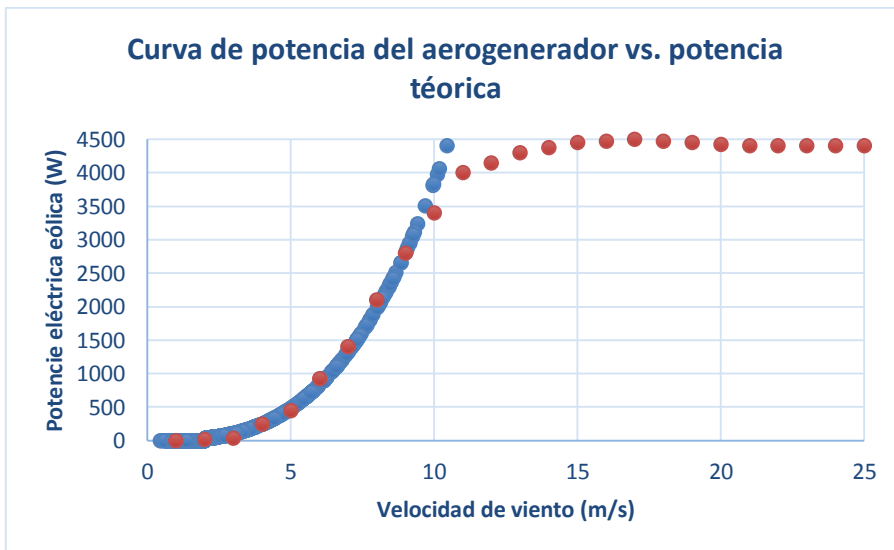
Marzo

Aeropuerto



Anexo 2. 5 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

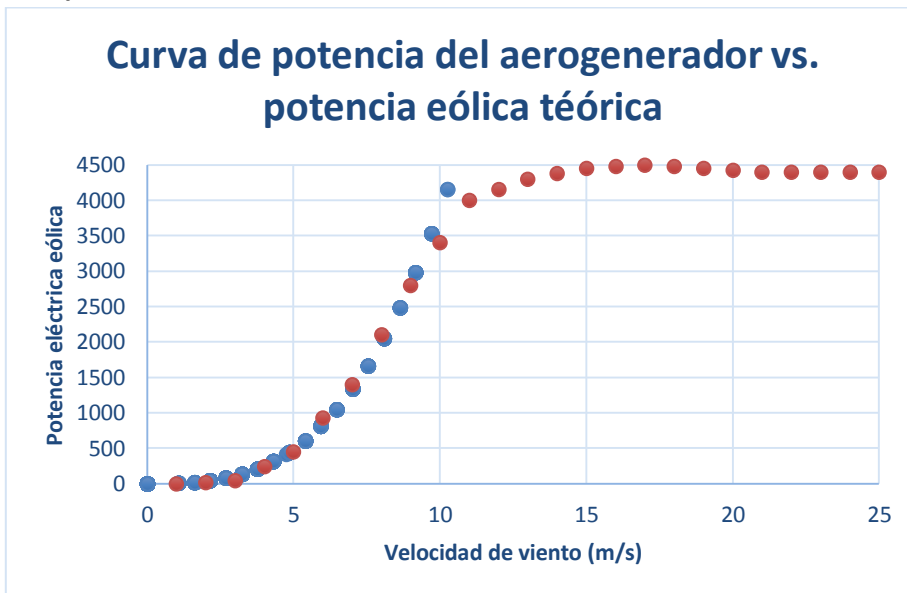
CONAGUA



Anexo 2. 6 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

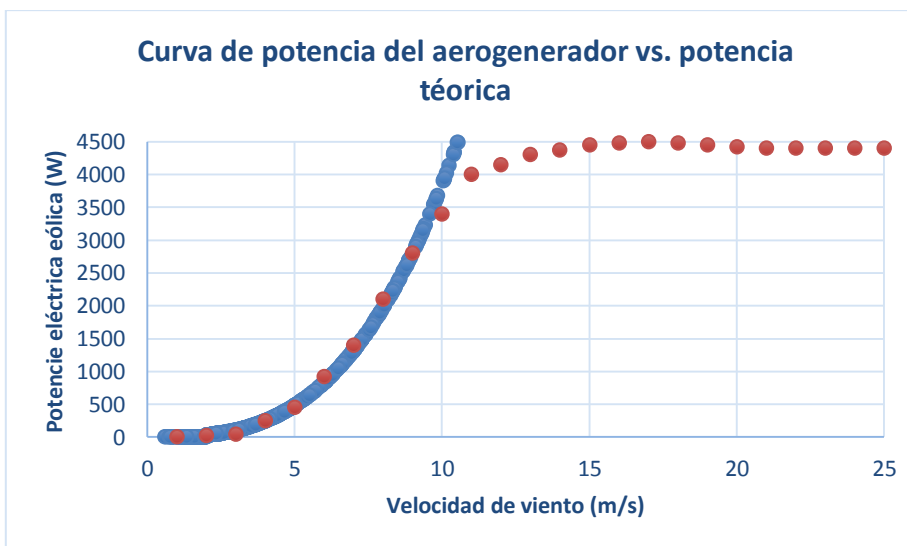
Abril

Aeropuerto



Anexo 2. 7 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

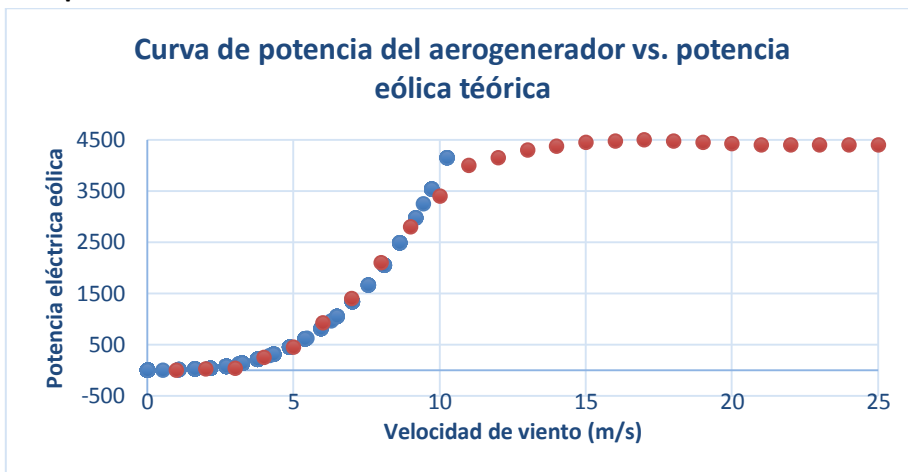
CONAGUA



Anexo 2. 8 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

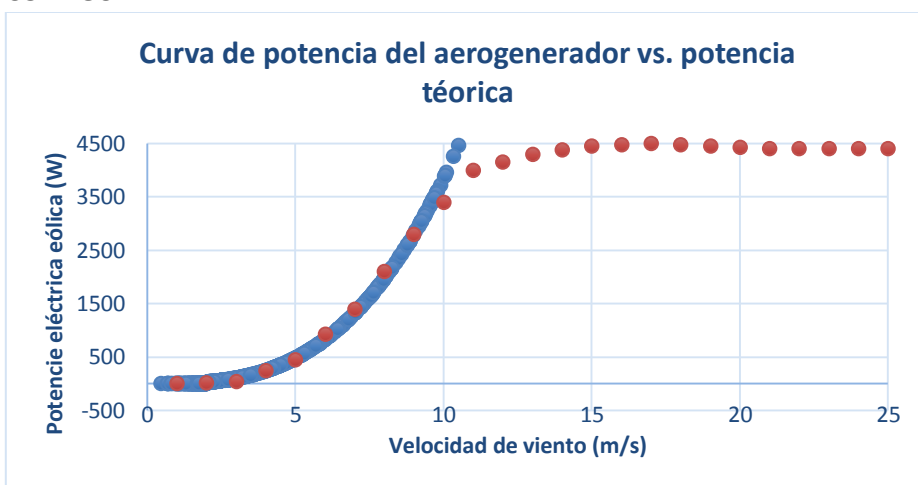
Mayo

Aeropuerto



Anexo 2. 9 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

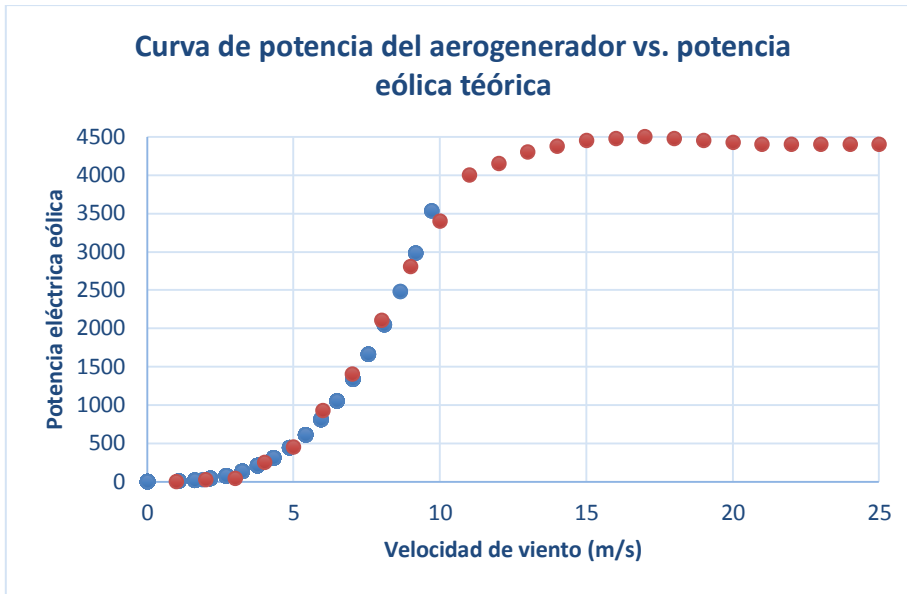
CONAGUA



Anexo 2. 10 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

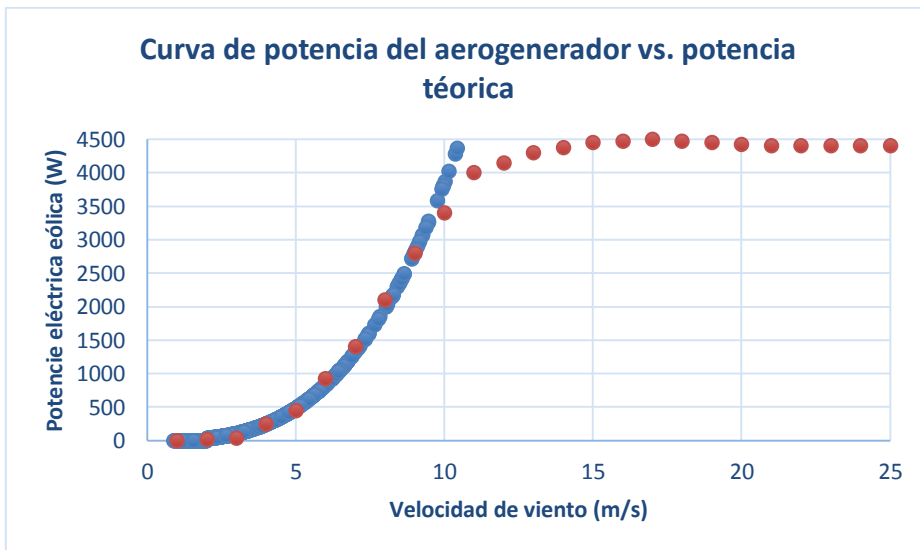
Junio

Aeropuerto



Anexo 2. 11 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

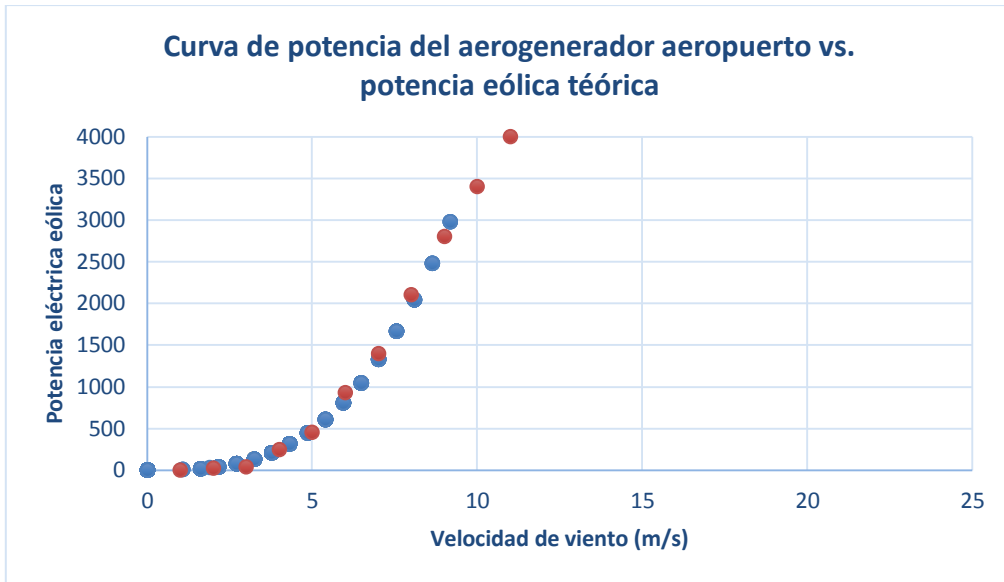
CONAGUA



Anexo 2. 12 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

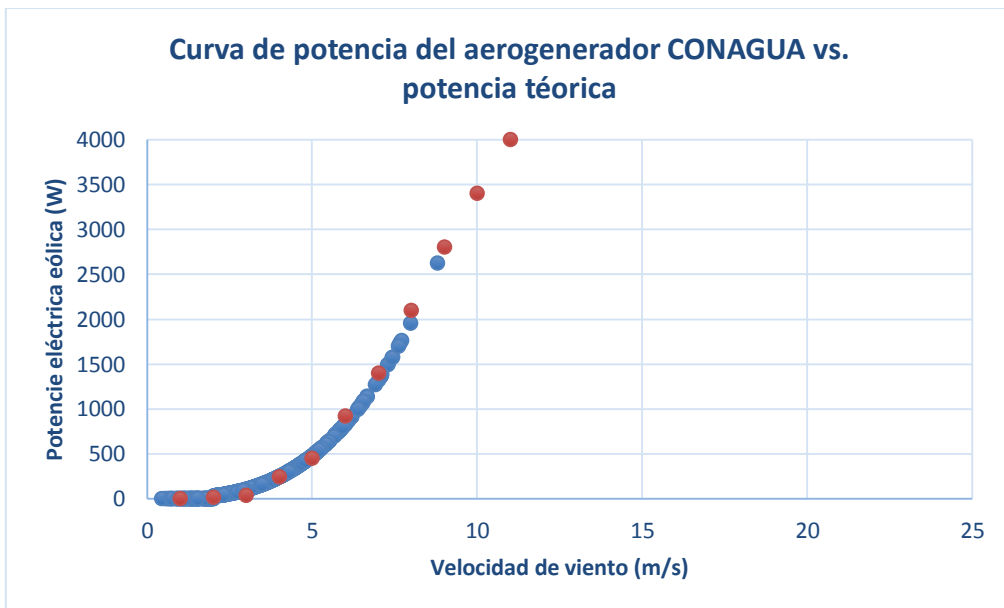
Julio

Aeropuerto



Anexo 2. 13 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

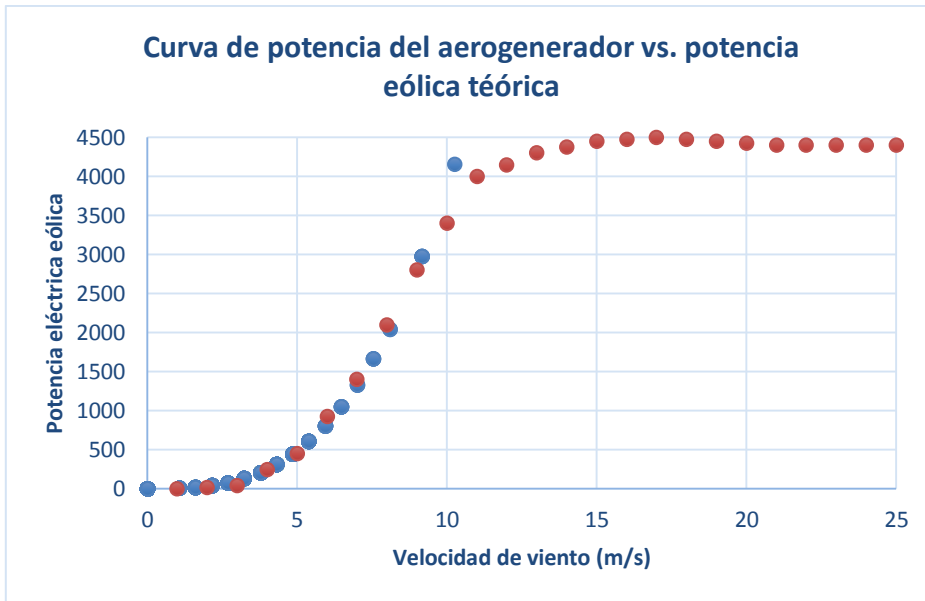
CONAGUA



Anexo 2. 14 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

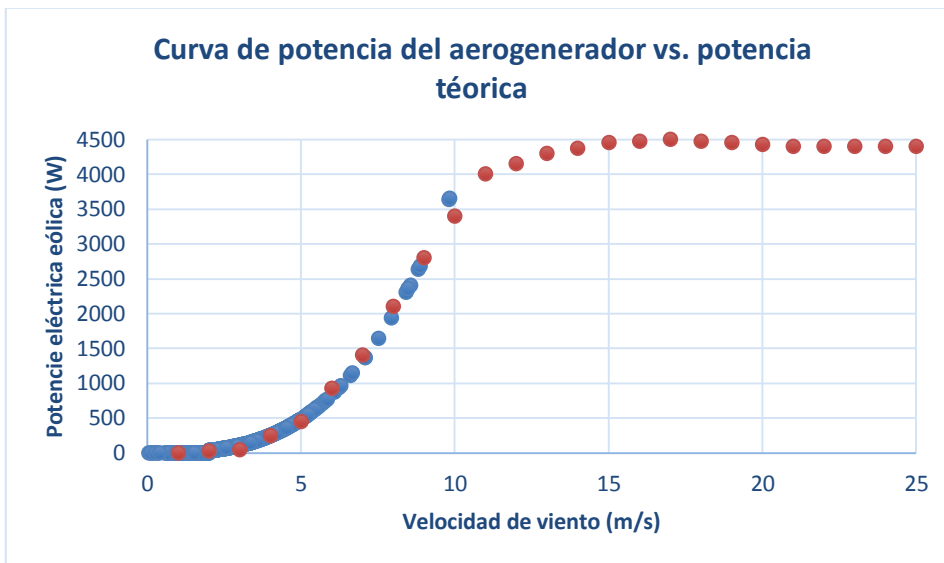
Agosto

Aeropuerto



Anexo 2. 15 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

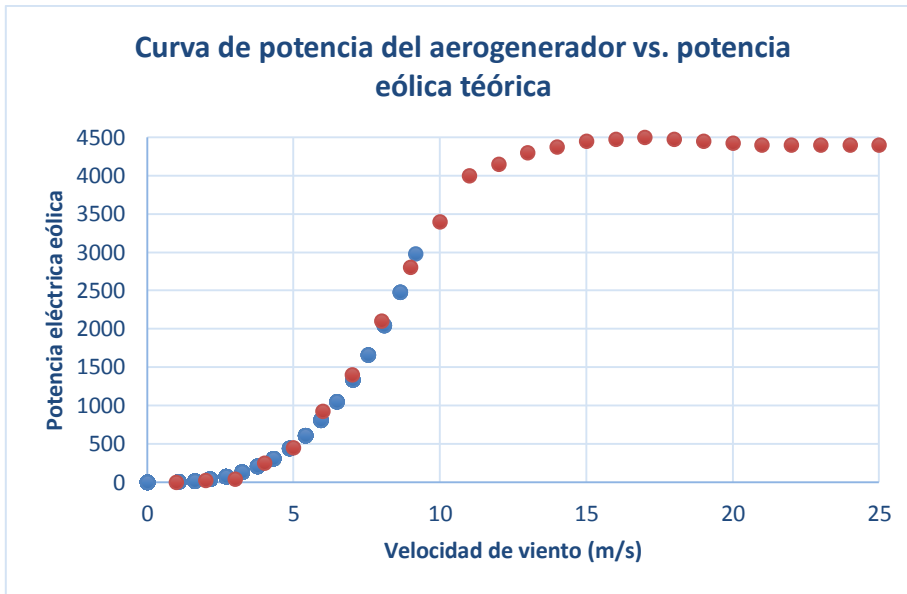
CONAGUA



Anexo 2. 16 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

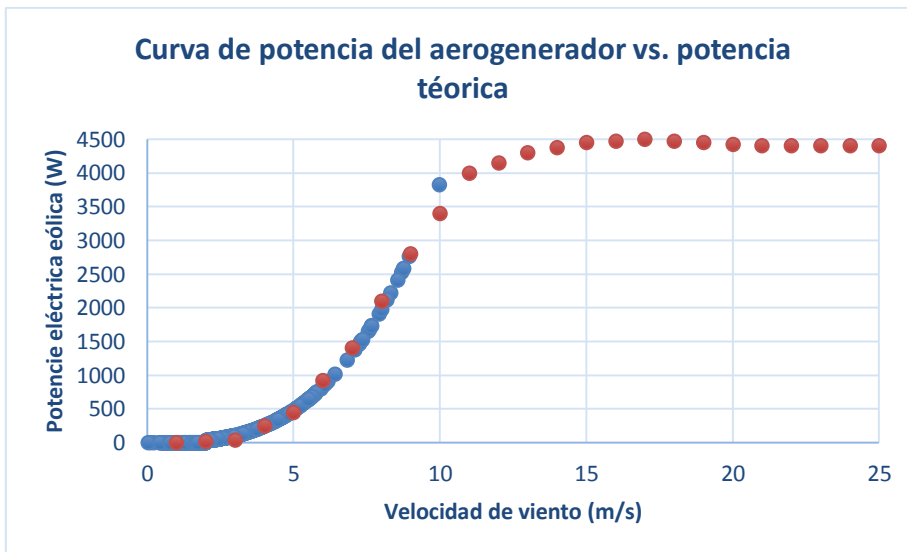
Septiembre

Aeropuerto



Anexo 2. 17 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

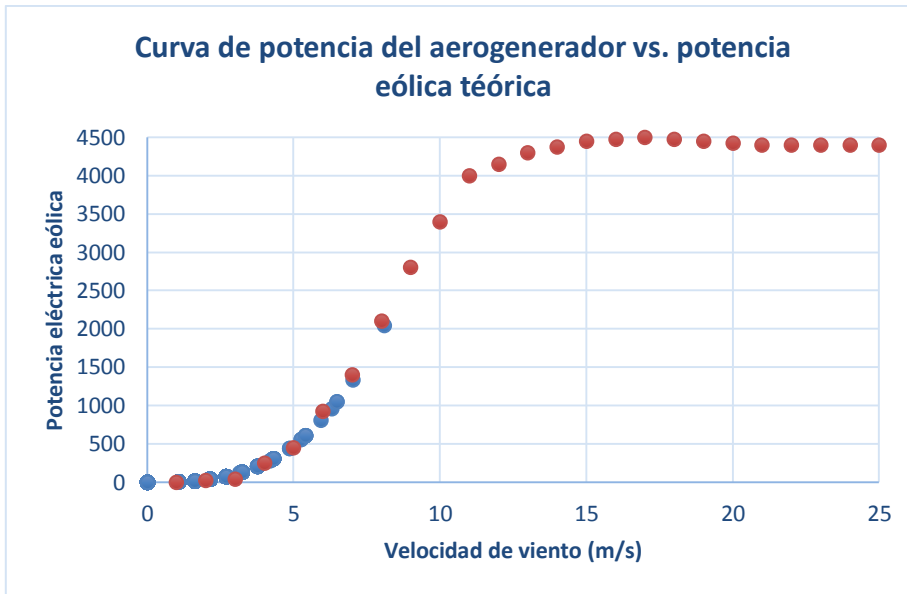
CONAGUA



Anexo 2. 18 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

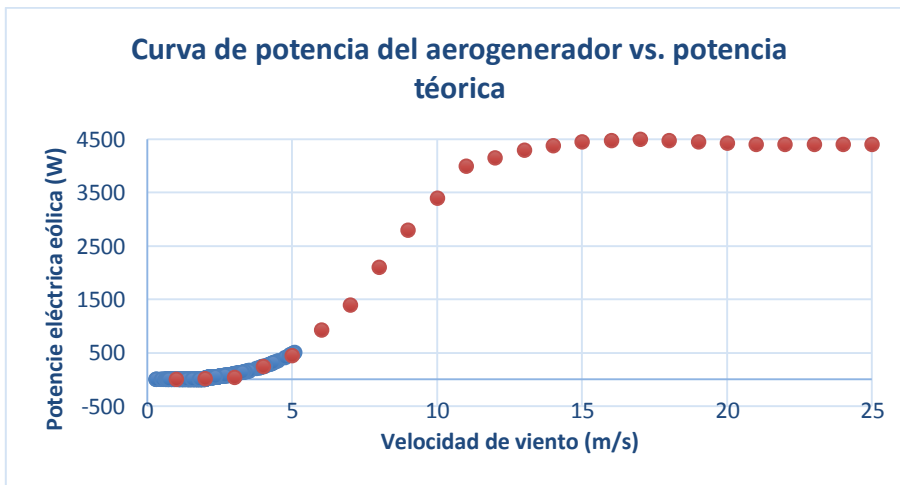
Octubre

Aeropuerto



Anexo 2. 19 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

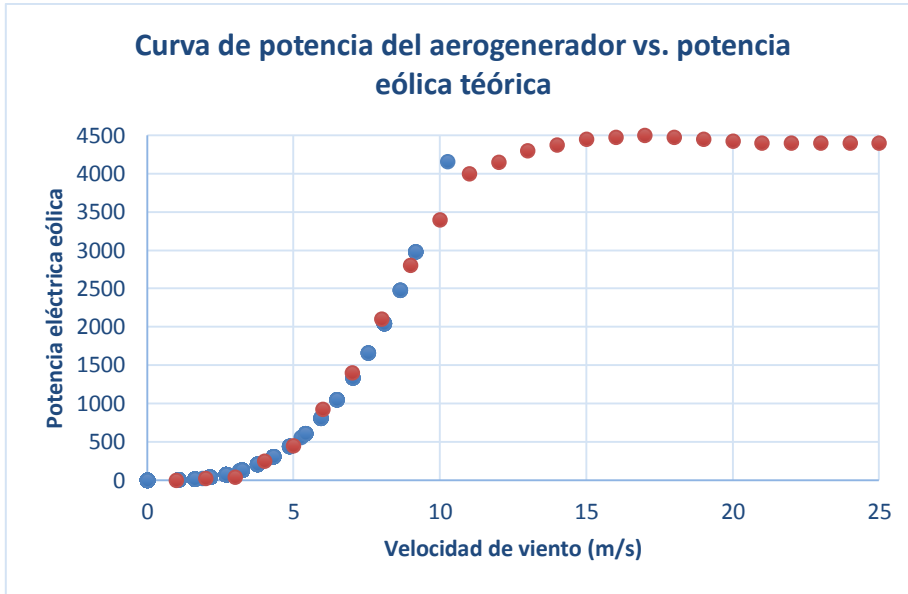
CONAGUA



Anexo 2. 20 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

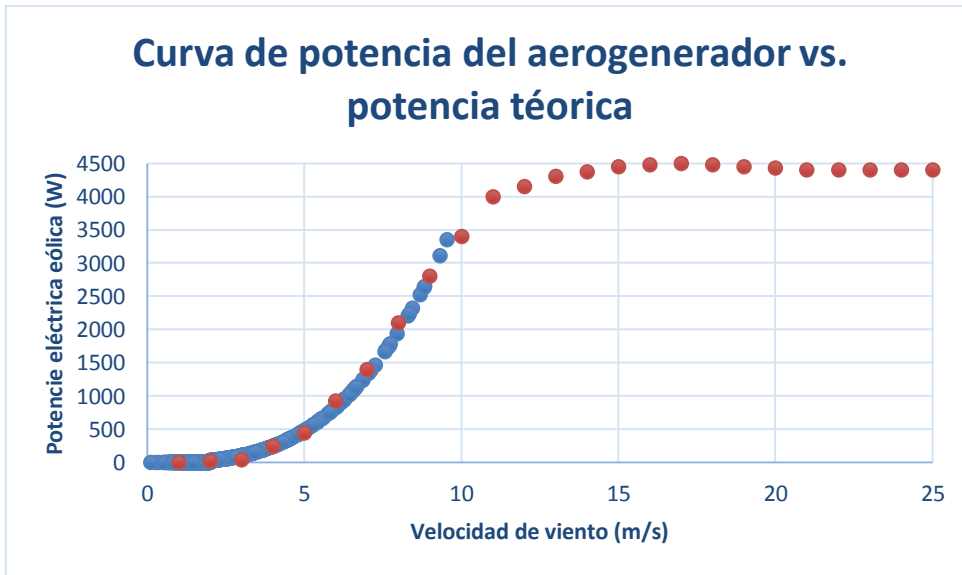
Noviembre

Aeropuerto



Anexo 2. 21 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

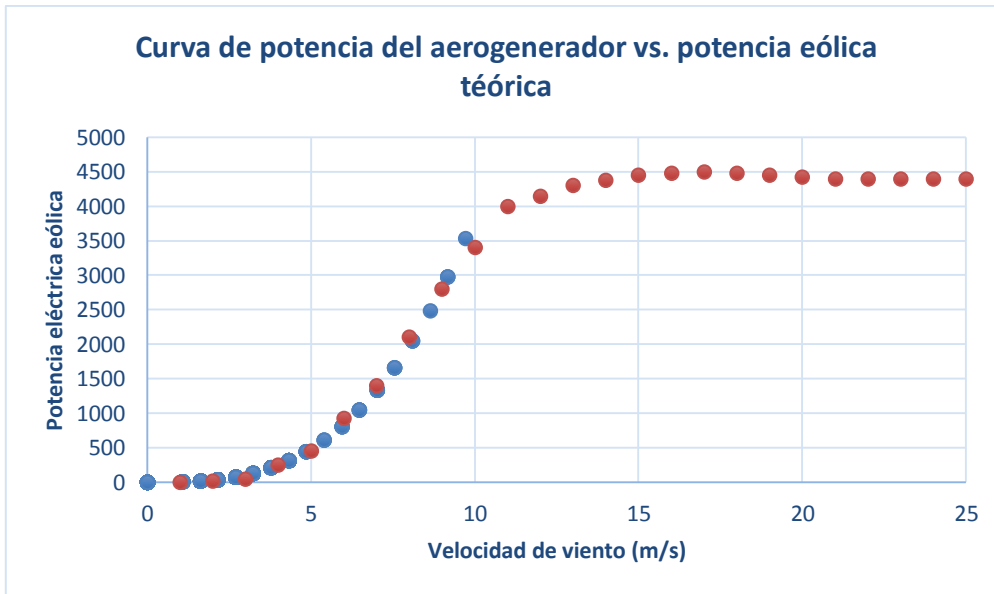
CONAGUA



Anexo 2. 22 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA

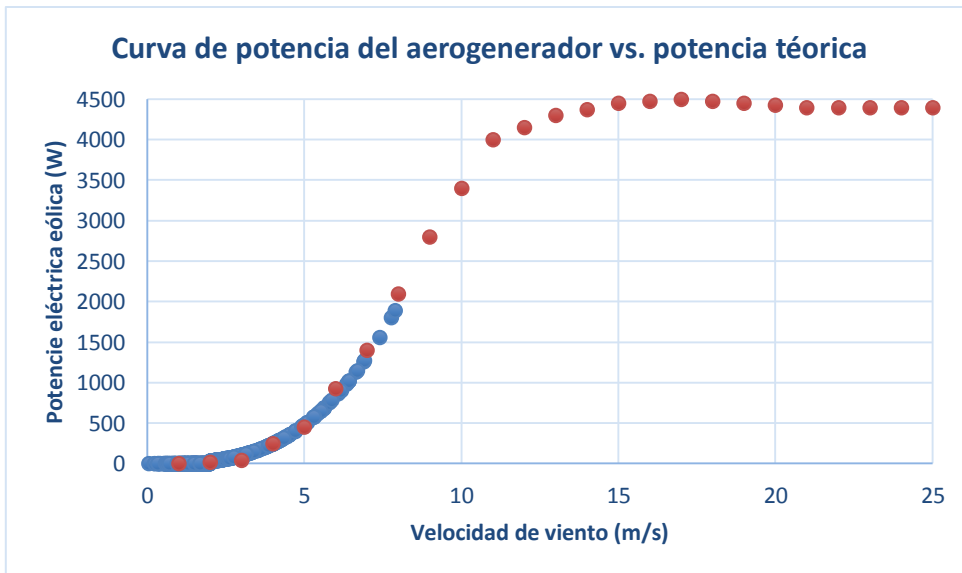
Diciembre

Aeropuerto



Anexo 2. 23 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica aeropuerto

CONAGUA



Anexo 2. 24 Curva de potencia del aerogenerador vs. potencia eólica teórica CONAGUA