

Energía eólica en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

*Julio César Castañeda Ramírez, Erasmo Cadenas Calderón, Eduardo Rangel Heras
y Gonzalo Mariano Domínguez Almaraz*

Facultad de Ingeniería Mecánica, UMSNH

Resumen

Se presenta un estudio preliminar para determinar la cantidad de energía eólica que puede ser aprovechada en la electrificación del campus Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). El estudio utiliza un año de mediciones horarias de la velocidad del viento del sitio seleccionado, simuladas utilizando el programa especializado METEONORM. Se caracterizó el lugar obteniendo las direcciones del viento dominante de CU, además de la cantidad de energía aprovechable. Finalmente se hace una propuesta la cual distribuye de manera óptima cinco aerogeneradores en las canchas de fútbol cuya generación de energía podría iluminar 619 hogares promedio.

Palabras clave: Energía eólica, aerogeneradores, UMSNH, programa Meteonorm, programa WindPRO.

Abstract

A preliminary study is presented to decide the amount of wind power that can be exploited to be used in the electrification of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) campus (Ciudad Universitaria, CU). The study uses a

year of hourly wind speed measurements of the selected site, obtained by the specialized software METEONORM. The place was characterized by getting the dominant wind direction of CU, in addition it was also obtained the amount of usable energy. Finally, a proposal is presented, which distributes optimally five wind turbines on the soccer fields, the energy generation of which could brighten 619 average houses.

Keywords: Wind power, wind turbines, UMSNH, Meteonorm, WindPRO.

Introducción

México es en esencia un país dependiente de los recursos fósiles, ya que su economía se cimienta, principalmente, en la venta de hidrocarburos. De la misma manera, la generación de energía eléctrica para consumo del país, se basa en la utilización de dichos productos, cuyo efecto, derivado del uso de este tipo de combustibles, contribuye a la generación de gases de efecto invernadero principalmente de CO₂.

En la actualidad existe un creciente interés por el cuidado del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales del país [1], por lo tanto, se ha optado por el desarrollo de las fuentes de energía renovables, entre las que destacan la solar y eólica. Este tipo de fuentes de energía son de fácil obtención, además de que contaminan poco.

Las energías renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitiva. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes.

Aunque se cree que hay un gran potencial eólico en México, los campos eólicos que se han instalado en el país han sido muy pocos, debido a que se requiere de una gran inversión para adecuación y construcción de los campos, además de que es imprescindible la construcción de los caminos para llegar a ellos.

En la actualidad México cuenta con 47 parques eólicos generando un total de 10,520 GWh/año al cierre de 2016 [2] que además de ser una fuente que contamina muy poco, es también fuente de generación de empleo.

Según datos de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), México se ha propuesto la meta de alcanzar los 12,000 MW eólicos para el año 2020. A su vez,

alcanzar los 12,000 MW instalados tendría un impacto acumulado en el PIB de cerca de 170,000 millones de pesos y la creación de más de 45,000 empleos [3].

Aunque por el momento la generación de energía eléctrica por medio de las energías alternas no pudieran sustituir del todo a la generación por medio de la quema de combustibles fósiles, sí representan un gran apoyo. Así, poco a poco con la investigación y el desarrollo sobre energías alternas será cada vez menos la dependencia de los combustibles fósiles.

En Michoacán existen pocos estudios al respecto de este tipo de energía. Los principales argumentos que se dan para no promoverlos son los mapas generados a nivel nacional de energía eólica, la falta de mediciones bien realizadas y la falta de software y hardware especializado.

A pesar de que en Michoacán no se han llevado a cabo estudios sobresalientes sobre el recurso eólico existente, el presente trabajo utiliza herramientas computacionales de alto nivel para exponer la generación de energía eólica a nivel local, dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria, de la Universidad Michoacana, en Morelia.

Se utilizó el software METEONORM [4], para simular un año de mediciones de viento en la ubicación de la Universidad, para posteriormente generar una propuesta de parque eólico en el área de las canchas de Ciudad Universitaria, con el respectivo cálculo de energía, utilizando el software WindPRO [5].

El resultado fue un parque eólico con cinco aerogeneradores ubicados en las canchas de fútbol de manera óptima, que representan una cantidad de energía de 2,700 MWh/año; lo que resultaría suficiente para alimentar 619 hogares promedio [6], demostrando que es posible generar electricidad con energía eólica en Ciudad Universitaria, como medida complementaria a la red eléctrica.

Aunque es un ejemplo didáctico, los resultados obtenidos son dignos de tomarse en cuenta. El trabajo aporta la caracterización del sitio, en cuanto a la obtención de un año de velocidades horarias del viento, las direcciones del viento dominante y la cantidad de energía que es posible aprovechar de dicho recurso en el lugar.

Datos utilizados en el análisis

El viento se produce por el movimiento de masas de aire en la troposfera, la capa más baja de la atmósfera. Los movimientos de masas de aire se encuentran en los gradientes de presión existentes, que son originados por la radiación solar desigual

sobre la superficie de la tierra. En otras palabras, las capas de aire caliente ascienden siendo desplazadas por las capas de aire frío, generando así el movimiento del aire (Figura 1).

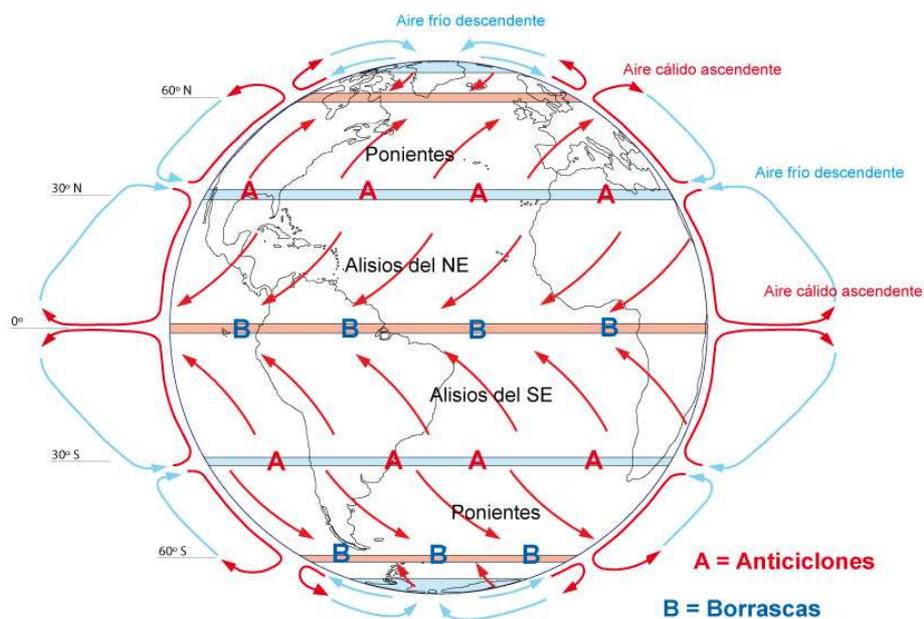


Figura 1. Circulación planetaria (Cortesía Canvas Network).

Tradicionalmente los instrumentos de medición utilizados para determinar las características del viento en un sitio para el emplazamiento de un campo eólico son, básicamente, anemómetros, veletas, termómetros (para medir la temperatura ambiente del aire) y barómetros.

En este caso en particular, los datos del viento fueron obtenidos mediante el software METEONORM (Figura 2), el cual suministra datos meteorológicos precisos para cualquier lugar del mundo, pudiendo estos ser de irradiación, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento entre otros parámetros climáticos.

La base de datos de METEONORM consiste en más de 8,000 estaciones meteorológicas y cinco satélites geoestacionarios con los cuales son extendidas las bases de datos de las estaciones en tierra con lo que es posible llenar los vacíos en áreas donde no existen estaciones meteorológicas disponibles.

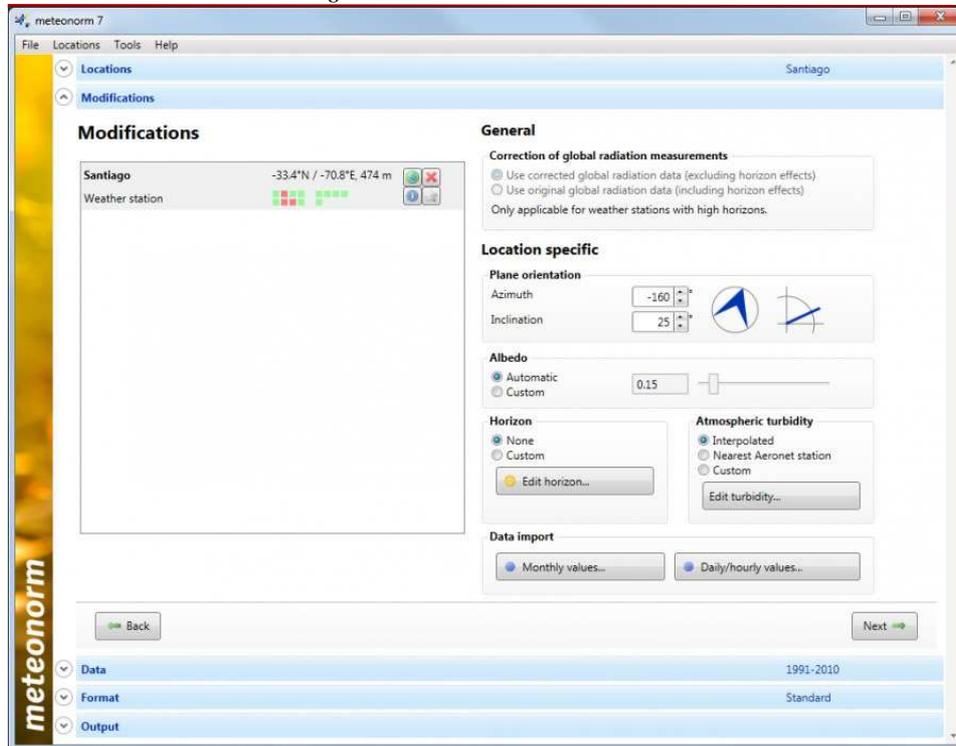


Figura 2. Plataforma del software Meteonorm (Cortesía Meteotest).

Usualmente los datos medidos sólo pueden ser usados en la proximidad de una estación meteorológica. Por otra parte, donde no hay estaciones disponibles, los datos tienen que ser interpolados entre diferentes estaciones cercanas al sitio de estudio. Los sofisticados modelos de interpolación usados por METEONORM permiten realizar cálculos confiables de uno u otro parámetro climático en cualquier parte del mundo.

Software de simulación de energía eólica WindPRO

WindPRO es un paquete de software utilizado para la planificación y el diseño de proyectos eólicos diseñado por EMD International A/S. Es utilizado por los principales fabricantes de turbinas, desarrolladores de proyectos, empresas de ingeniería e instituciones de investigación. Los cálculos y los informes realizados con el software son reconocidos y aceptados en todo el mundo por los inversores, los bancos y las autoridades de planificación.

WindPRO abarca todos los aspectos de la planificación de proyectos eólicos, incluyendo la estimación de la producción energética, los impactos ambientales, la selección de la tecnología, la financiación y la operación del proyecto. [7]

El software está basado en módulos utilizados para el diseño y planeación de proyectos de campos eólicos, abordados de tal forma que permite al usuario una interfaz amigable y donde cada módulo aborda un propósito específico.

El sitio seleccionado para el emplazamiento

El territorio de la ciudad de Morelia (Figura 3) es bastante accidentado ya que su localización se encuentra sobre el Eje Neo volcánico Transversal, que atraviesa el centro del país, de este a oeste. De lo anterior se concluye que la orografía descrita tiene el beneficio de poseer lugares adecuados que permiten la captación del viento a alturas elevadas; por otra parte, este beneficio se convierte en desventaja ya que al no contar con un terreno elevado, estos relieves se convierten en obstáculos naturales que impiden el desarrollo del perfil de velocidad del viento [8].

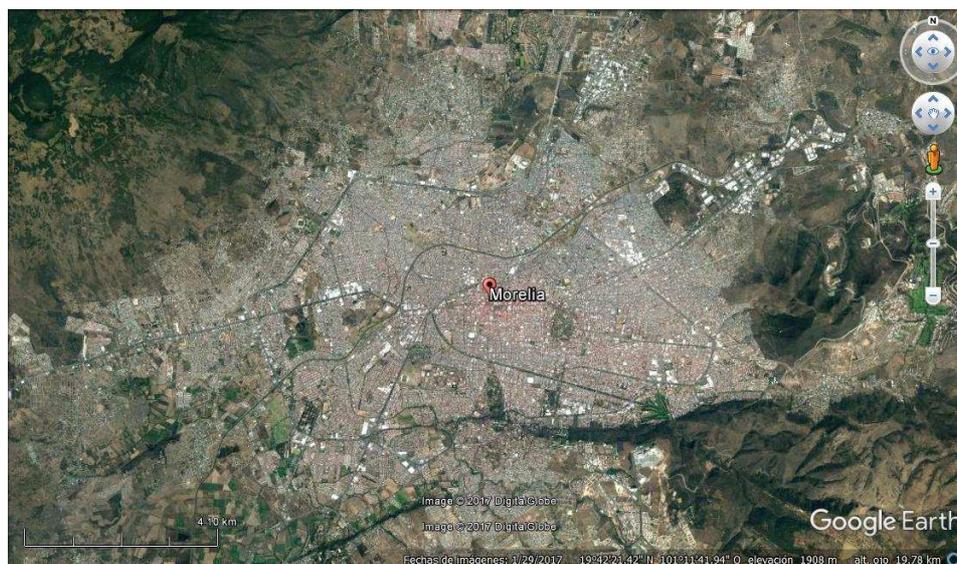


Figura 3. Fotografía satelital de la ciudad de Morelia (Cortesía Google Earth).

El campus principal de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, conocida coloquialmente como Ciudad Universitaria (CU), tiene una superficie de 657,849 m² aproximadamente. CU se encuentra a 1,910 m de altitud respecto del

nivel del mar con coordenadas geográficas $19^{\circ} 41' 22.71''\text{N}$ y $101^{\circ} 12' 23.86''\text{O}$ latitud y longitud respectivamente. En CU predomina el clima templado con una humedad media y la temperatura media anual oscila entre los 16°C . Los vientos dominantes provienen del suroeste y noroeste, variables en el mes de julio y agosto con intensidades de entre 2.0 a 14.5 km/h [9].

La instalación de campos eólicos requiere de grandes extensiones de terreno que sean bastante llanas evitando en la medida de lo posible los obstáculos que impidan el desarrollo del perfil de velocidad del viento, por lo cual se seleccionó el área deportiva de CU, específicamente la superficie marcada en la Figura 4.



Figura 4. Ciudad Universitaria de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán (Cortesía Google Earth).

Normalmente para justificar la instalación de un campo eólico la velocidad media anual del viento en el sitio de estudio deberá oscilar entre 6 – 7 m/s o superiores, esto hablando de generación a nivel comercial; pero velocidades entre 4 – 5 m/s pueden ser aprovechadas para la generación de energía a nivel local, tal es el caso de este estudio en el que la velocidad media anual en el sitio seleccionado es de 3.9 m/s.

Análisis de los datos obtenidos

El viento produce energía porque está siempre en movimiento y su contenido energético depende de su velocidad.

Cerca del suelo la velocidad es baja debido al rozamiento, aumentando rápidamente con la altura. Si la zona es muy accidentada esto tenderá a reducir la velocidad del viento, es por ello que sopla con menor velocidad en las depresiones terrestres y aumenta sobre las colinas y aun con más velocidad en el mar.

Los datos de velocidad de viento disponibles en la superficie se encuentran normalmente a alturas alrededor de 10 m.

La determinación del recurso eólico a mayores alturas se realiza utilizando métodos de extrapolación. Una expresión simple que da resultados satisfactorios es la ley de perfil logarítmico que relaciona las velocidades de dos alturas cualesquiera de la siguiente manera [10].

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_0}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde: v es la velocidad en m/s a la altura H en m, v_0 es la velocidad en m/s a la altura H_0 (frecuentemente a una altura de 10 m) y z_0 es el coeficiente de longitud de rugosidad (Tabla 1) en m.

TABLA 1
Coeficientes de longitud de rugosidad para diferentes superficies.

| Descripción del terreno | z_0 (mm) |
|--|------------|
| Muy suave: hielo o lodo | 0.01 |
| Mar abierto tranquilo | 0.20 |
| Mar soplando | 0.50 |
| Superficie nevada | 3.00 |
| Césped | 8.00 |
| Pasto áspero | 10.00 |
| Campo en barbecho | 30.00 |
| Cultivos | 50.00 |
| Algunos árboles | 100.00 |
| Muchos árboles, bordes, algunas construcciones | 250.00 |
| Bosques | 500.00 |
| Suburbios | 1500.00 |
| Ciudades con edificios altos | 3000.00 |

Los datos de velocidad de viento con los que se cuenta fueron obtenidos de estaciones meteorológicas, la cuales, por lo regular sus torres anemométricas se

encuentran a una altura de 10 m; sin embargo, la altura del buje de los aerogeneradores se encuentra por encima de esta, por tal motivo se debe de conocer la velocidad del viento a diferentes alturas.

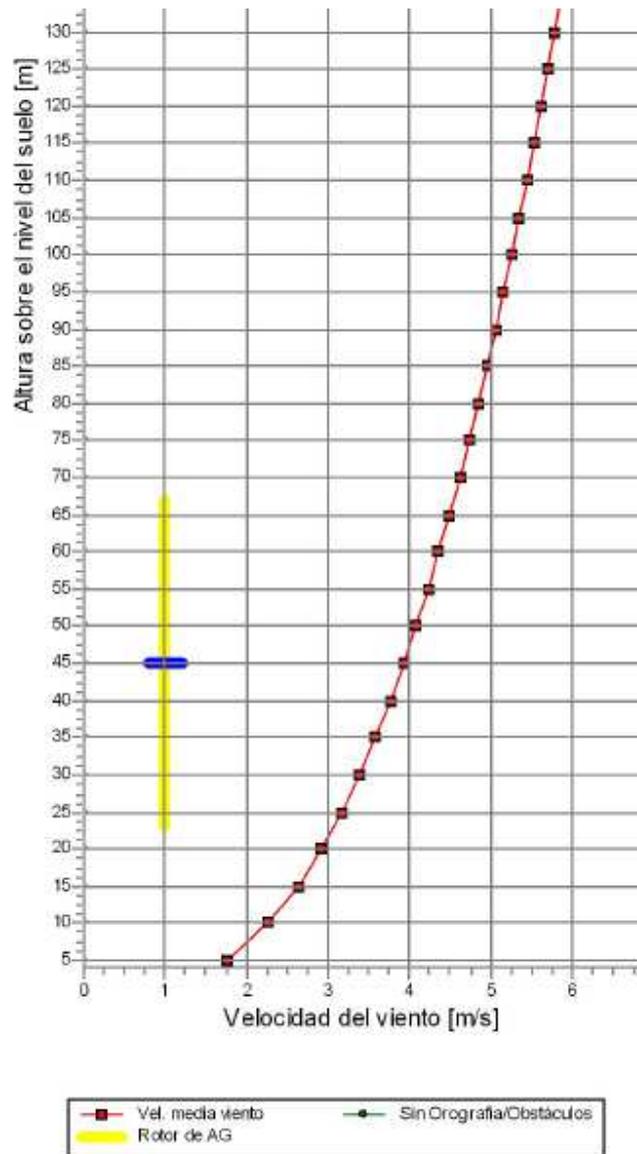


Figura 5. Perfil de velocidad del viento de Ciudad Universitaria

Con sólo saber la velocidad a una altura conocida y el tipo de terreno en el cual habrá de instalarse el campo eólico; aplicando la ecuación 1 se podrá conocer la velocidad del viento a alturas superiores a las que fueron obtenidas las mediciones con una muy buena aproximación.

Una vez que se conocen las velocidades del viento a diferentes alturas es posible, a partir de éstas, construir un gráfico que muestre su comportamiento (Figura 5); este gráfico es conocido como perfil de velocidad del viento. En él se puede observar cómo la velocidad es más elevada conforme la altura aumenta.

Selección de los parámetros de diseño de los aerogeneradores

Se requiere la velocidad de diseño en la selección de la turbina adecuada para un emplazamiento eólico, normalmente se realiza un análisis de las frecuencias de viento y energía que se resumen en una tabla conocida como distribución de frecuencias o tabla de frecuencias.

Debido a la naturaleza cambiante de los vientos, es importante conocer las direcciones de los vientos dominantes en el sitio elegido para su estudio, una herramienta útil y de fácil interpretación para este fin es la nombrada rosa de los vientos.

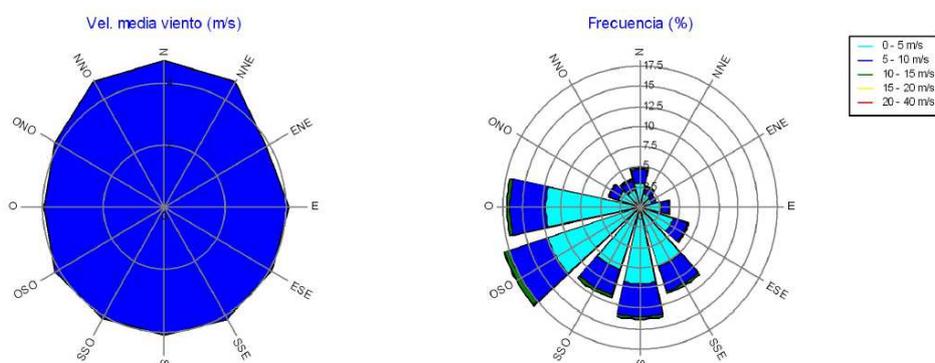


Figura 6. Rosas de los vientos de Ciudad Universitaria.

La distribución de dirección del viento es de vital importancia al momento de ubicar las turbinas eólicas en el sitio seleccionado, e incluso para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina.

En la Figura 6 se pueden observar las rosas de vientos para el campus CU de la UMSNH. La rosa a la izquierda indica que la velocidad media durante un año es igual o ligeramente superior a 4 m/s presentándose variaciones en el cuadrante norte del emplazamiento, aumentando a velocidades ligeramente superiores a los 5 m/s. La rosa de viento a la derecha indica que durante el año los vientos predominantes provienen desde oeste (O) y oeste-sur-oeste (OSO).

El conocimiento de la distribución de velocidades de viento es muy importante a la hora de determinar el potencial eólico disponible, además de otros parámetros energéticos de interés.

Si no se dispone de series temporales medidas en el emplazamiento, o si se quiere extrapolar datos a otro lugar, este proceso ofrece ciertas ventajas.

Cuando se realizan mediciones de la velocidad del viento en intervalos de por lo menos 1 año, la función de distribución de probabilidad de Weibull se usa con éxito para describir las curvas de frecuencia [11].

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \dots\dots\dots (2)$$

Donde: f es la función de distribución Weibull, k es el factor de forma de la distribución, c es el parámetro de escala de la distribución y v es la velocidad del viento en m/s.

La Figura 7 muestra la distribución Weibull que indica la frecuencia con la que se presentan diferentes velocidades del viento al año. Las velocidades que se pueden observar con mayor frecuencia en el periodo de un año en CU son las que se encuentran entre 3 y 4 m/s, lo que representa el percentil 63.2 del total de los datos.

Cálculo de la potencia

El objetivo más importante en la selección de emplazamientos para instalaciones eólicas es maximizar la captación de la energía cinética del viento para reducir los costos de producción.

Si el viento sopla en un lugar a una velocidad v, la potencia eólica disponible se expresa como [12]:

$$\dot{W}_{\text{disponible}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (3)$$

Donde: $\dot{W}_{\text{disponible}}$ es la potencia eólica disponible, ρ es la densidad del aire, A es el área de barrido de las palas del aerogenerador y v es la velocidad del viento.

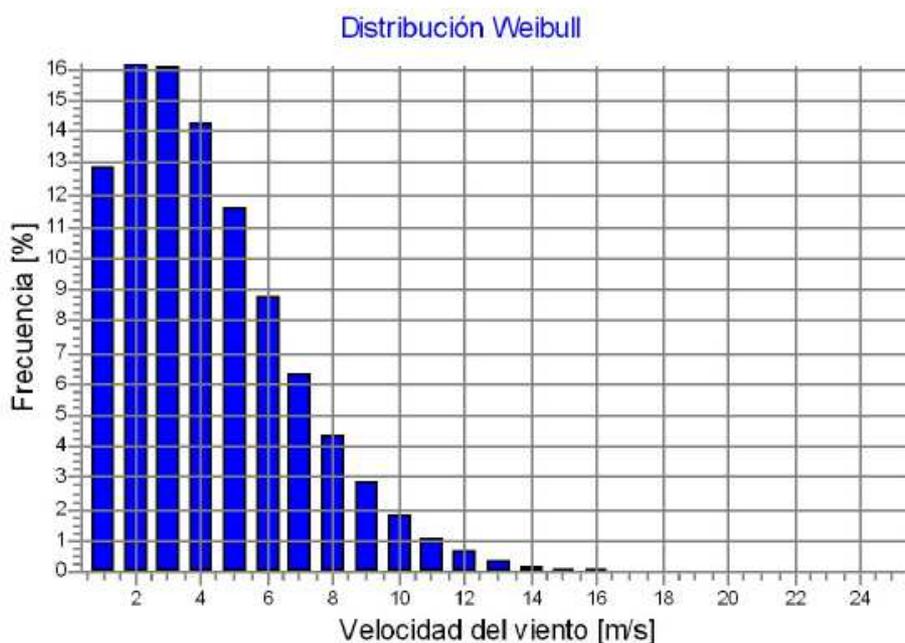


Figura 7. Distribución de probabilidad Weibull de los vientos de Ciudad Universitaria.

La ecuación 3 indica que el potencial de un aerogenerador es proporcional a la potencia cúbica de la velocidad del viento. Si la velocidad del viento se duplica, la potencia aumentará por un factor de 8.

Cabe destacar que para esta relación, invertir en una turbina eólica no suele estar justificado si la ubicación no cuenta con vientos estables a una velocidad de aproximadamente 6 m/s o mayor [13].

La ley de Betz dice que sólo puede convertirse menos de 16/27 (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador [14].

En el campo de la energía eólica se emplean varios indicadores para medir el comportamiento energético de una instalación eólica. El factor de capacidad es el más empleado y difundido. El valor del factor de capacidad debe ser mayor que 20% para que un sistema de generación de electricidad, ya sea un aerogenerador o una agrupación de aerogeneradores, se considere de forma preliminar factible económicamente.

Existen algunos factores meteorológicos que influyen en el funcionamiento de un sistema eólico de los cuales los más importantes que afectan al diseño, funcionamiento, emplazamiento y operación de un parque eólico son los siguientes [15]:

- Velocidad media del viento y sus variaciones, tanto diurnas, estacionales e interanuales.
- Distribución de probabilidades de velocidades.
- Variación con la altura de la velocidad y de la dirección.
- Distribución de direcciones y probabilidades de cambios bruscos de dirección.
- Variaciones estacionales y diurnas de la densidad del aire y variaciones con la altura.
- Características de las series temporales de vientos altos y de periodos de calma.
- Interacciones entre estelas de máquinas en los parques eólicos.
- Frecuencias de condiciones extremas de viento.
- Condiciones atmosféricas especiales.

Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos demuestran que en el estado de Michoacán es posible generar energía eléctrica por medio del viento; si bien no a nivel comercial si es posible hacerlo a nivel local, es decir para pequeñas comunidades alejadas donde la red eléctrica nacional aún no ha llegado o como en este caso el abastecimiento eléctrico parcial del campus de CU.

El aerogenerador seleccionado para este estudio es de la marca GAMESA modelo G58 de 850 KW de potencia nominal. La selección se realizó mediante la comparación de distintos aerogeneradores disponibles en el mercado, siendo el más adecuado para las características del lugar.

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos del análisis de los datos de viento generados por medio de METEONORM para CU; esta tabla es el resultado principal del módulo PARK del software WindPRO. Nótese cómo el resultado de 3,372.8

MWh/año disminuye debido a pérdidas pudiendo ser estas mecánicas, por estela que generan los aerogeneradores al cambiar el viento de dirección, entre otras, dando como resultado el mostrado en la columna PARK, aun así se hace uso de un factor de seguridad del 10% quedando finalmente 2,429.2 MWh/año.

TABLA 2

Energía anual calculada para el Campo Eólico en Ciudad Universitaria.

| Combinación AG | Resultado PARK [MWh/año] | Resultado -10% | Sin pérdidas AGs libres [MWh/año] |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Campo eólico | 2,699.2 | 2,429.2 | 3,372.8 |
| Campo eficiencia [%] | Factor capacidad [%] | Plena carga horas [Horas/año] | Vel. Viento media @ altura eje |
| 80 | 6.5 | 572 | 3.9 |

El factor de capacidad para este caso es de 6.5%, es decir que sólo 572 horas de las 8,760 horas del año, lo equivalente aproximadamente 24 días, el campo trabaja a plena carga. Una manera de mejorar este factor es cambiando el aerogenerador por uno que pudiera aprovechar mejor las velocidades de viento presentadas en el lugar.

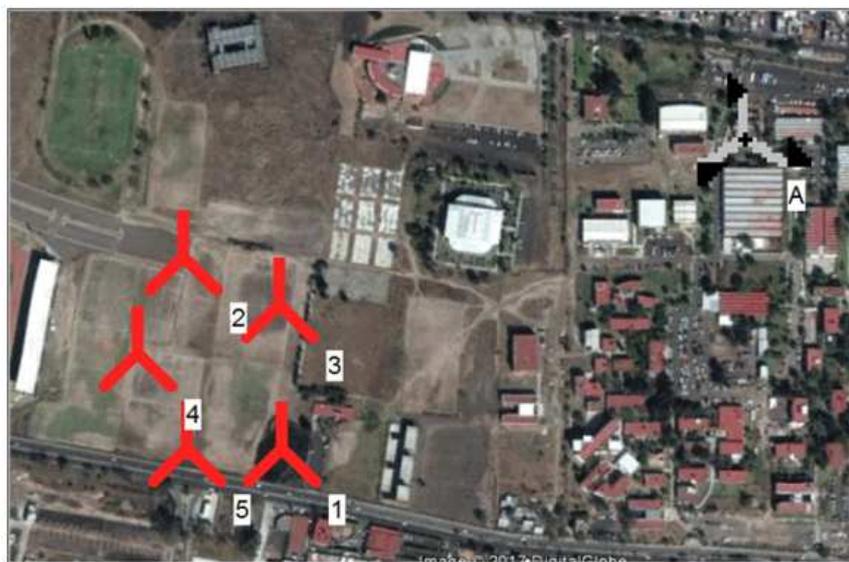


Figura 8. Mapa donde se muestra la distribución óptima de los aerogeneradores en Ciudad Universitaria.

Es importante destacar que la eficiencia del campo depende en gran medida de la distribución de los aerogeneradores sobre el terreno. Utilizando la herramienta OPTIMIZE, WindPRO es capaz de realizar la distribución óptima sobre el área seleccionada para el emplazamiento, como lo muestra la Figura 8.

Las coordenadas específicas de cada aerogenerador pueden ser observadas en la Tabla 3.

TABLA 3
Distribución de AGs UTM (north)-WGS84 Zona: 14

| | Aerogenerador | Este | Norte | Z [m] |
|---|-------------------------|---------|-----------|---------|
| 1 | GAMESA G58/850 Buje 44m | 268,385 | 2,178,402 | 1,908.6 |
| 2 | GAMESA G58/850 Buje 44m | 268,285 | 2,178,602 | 1,903.6 |
| 3 | GAMESA G58/850 Buje 44m | 268,385 | 2,178,552 | 1,906.5 |
| 4 | GAMESA G58/850 Buje 44m | 268,235 | 2,168,502 | 1,903.4 |
| 5 | GAMESA G58/850 Buje 44m | 268,285 | 2,168,402 | 1,901.3 |

Debido a la naturaleza cambiante de los vientos, la energía no es producida desde una misma dirección, más bien éste cambia durante el año. La Figura 9 muestra la producción energética en un año por dirección.

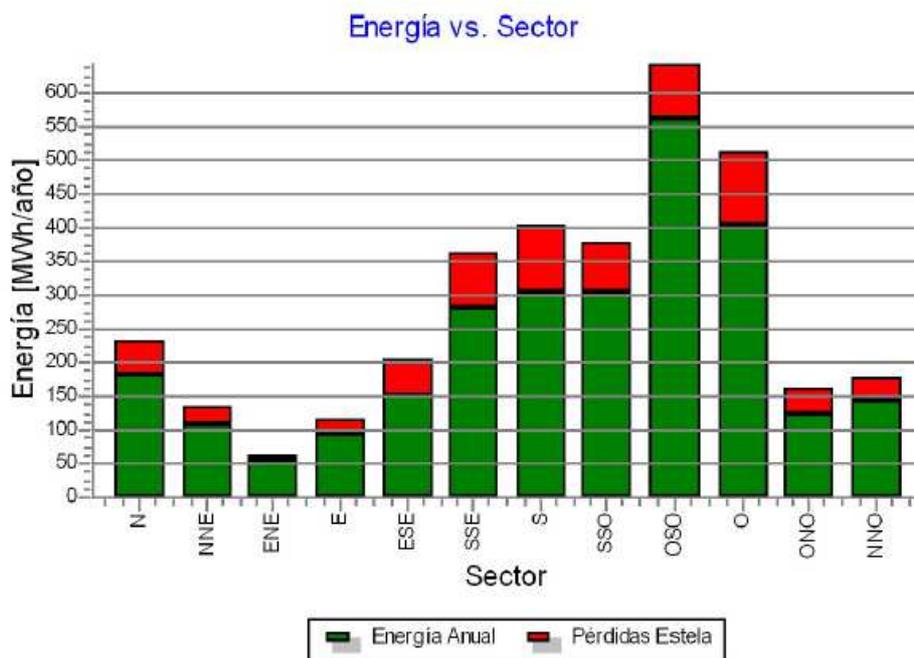


Figura 9. Análisis de producción por sector en Ciudad Universitaria.

De la Figura 9 se puede observar que la mayor producción energética proviene de la dirección OSO, el cual concuerda con la distribución de frecuencia representada en la rosa de vientos.

Al momento de evaluar la factibilidad para la instalación de un campo eólico uno de los aspectos que se deben observar es el del impacto visual que este pueda generar; en la Figura 10 se puede observar cómo sería la distribución de los aerogeneradores a nivel de terreno en las canchas de fútbol de CU, utilizando fotomontaje en escala real.



Figura 10. Fotomontaje de los aerogeneradores en las canchas de fútbol de CU.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizó un estudio para conocer la cantidad de energía eólica que se puede generar en la Ciudad Universitaria de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se realizó la caracterización del sitio utilizando los softwares especializados WindPRO y METEONORM, arrojando resultados satisfactorios. La caracterización del lugar da como resultado la velocidad promedio anual del viento en el lugar, que es de 3.9 m/s, la dirección de los vientos dominantes oeste-sur-oeste (OSO), la cantidad de energía que se podría generar con este recurso 2,700 MWh/año, suficiente para alimentar 619 hogares,

utilizando de manera óptima cinco aerogeneradores de 44 m de altura de buje, distribuidos de manera óptima en las canchas de fútbol. Finalmente el estudio demuestra que es posible la incorporación de la energía eólica aún con vientos moderados como fuente de energía complementaria.

Referencias

- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2016). AMDEE. México. Recuperado de <http://www.amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC-El-potencial-eolico-mexicano.pdf>.
- Çengel, Y. Boles, M., (2015), *Termodinámica*, Estados Unidos de América, McGraw-Hill.
- Energía eólica twenergy. (2017). Twenergy. España. Recuperado de <https://twenergy.com/energia/energia-eolica>.
- Iannini, R., Gonzáles, J., & Mastrángelo, S. Energía Eólica Teoría y Características de Instalaciones, Argentina. *Comisión General de Energía Atómica (CNEA) México - Parques eólicos*. (2005-2017). The wind power. Recuperado de http://www.thewindpower.net/country_windfarms_es_36_mexico.php.
- Meteonorm (Versión 7.2) [Software]. (2016). Obtenido de <http://www.meteonorm.com/en/downloads>
- Consulta tu tarifa. (2017). Comisión Federal de Electricidad. México. Recuperado de http://app.cfe.gob.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/tarifas_casa.asp?Tarifa=D AC2003&Anio=2017&mes=1&imprime=
- Morelia. (2017). Wikipedia. Estados Unidos. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Morelia>
- Morelia. (2017). Wikipedia. Estados Unidos. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Morelia#Geograf.C3.ADa>
- Muñoz, O. C., Pool, A. B., Bojórques, M. P., Carrillo, B. G., López, E. O., Cortés, M. P., & Sogbi, H. V. (2016). Predicción de velocidades y potencial eólico para alturas superiores: estudio en Mérida, Yucatán, México. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 19(2), 85-90.
- Mur A. J. Curso de Energía Eólica. Zaragoza, España: Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza.
- Rohatgi, J. S. (Ed.). (1994). Wind characteristics an analysis for the generation of wind power. Canyon, United States of America: Burgess Publishing.

- Suárez, C. G. (2013). *Evaluación del recurso eólico en el estado de Michoacán: Identificación preliminar* (Tesis de pregrado). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán.
- WindPRO (Versión 3.1) [Software]. (2017). Obtenido de <https://www.emd.dk/windpro/downloads/>
- WindPRO. (2017). EMD International A/S. Recuperado de <https://www.emd.dk/windpro/>.