

VIABILIDAD TÉCNICA - AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN EL MUNICIPIO SANTO DOMINGO TEHUANTEPEC

Peralta Morales Miriam Guadalupe^{1*}, Hernández Ventura Jesús¹, Dorrego Portela José Rafael¹, Núñez Rodríguez Aírel¹, Lastres Danguillecourt Orlando¹, Hernández Gálvez Giovanni².

¹ Instituto de Estudio de la Energía de la Universidad del Istmo, Ciudad Universitaria S/N, Barrio Santa Cruz, 4a. Sección Sto. Domingo Tehuantepec, Oax., México C.P. 70760

² Centro de Investigación en Energía. UNAM. Temixco, Morelos. México

*Tel (971)127-1603, miriperalta@hotmail.com

RESUMEN

Basado en el análisis del mapa de viento localizado en la región de Santa Cruz Tagolaba en el municipio de Sto. Domingo Tehuantepec, se presenta un estudio de viabilidad técnica e impacto ambiental derivado de la instalación de un aerogenerador y su estimación de producción anual, así como el estudio de variables ambientales considerando la zona de influencia visual y efectos de ruido causados por el parque.

Se ha determinado el análisis de micrositio y producción anual de energía del aerogenerador utilizando el modelo WAsP. Para el diseño del campo eólico y estudio de factores ambientales se utilizó el Software WindFarm.

Palabras clave: Producción de energía, Impacto ambiental, Aerogenerador, Viabilidad.

***Presentacion Oral

1.- Introducción

Actualmente se presenta en el mundo la necesidad de disponer de tecnologías eficientes para la producción de energía eléctrica que utilicen fuentes renovables para su obtención y que cumpla con las exigentes regulaciones gubernamental es vigentes las cuales son cada vez más rigurosas para así poder evitar el deterioro que muestra ya nuestro medio ambiente. La energía eólica es prácticamente libre de emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a mitigar el cambio climático además de diversificar las fuentes de generación de energía eléctrica, de esta forma, además de darle importancia a los logros económicos, también toma en cuenta los beneficios a la salud y al medio ambiente.

En los últimos años, las energías renovables como la eólica han tenido un crecimiento muy importante a nivel mundial, este auge ha alcanzado al estado de Oaxaca, de forma específica al Istmo de Tehuantepec, en donde según los datos de una publicación realizada por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), mediante un estudio denominado Atlas Eólico del Estado de Oaxaca [1] se muestra que en esta zona se presentan vientos persistentes con las velocidades adecuadas para la producción de energía eléctrica a través de aerogeneradores, ver Figura 1.

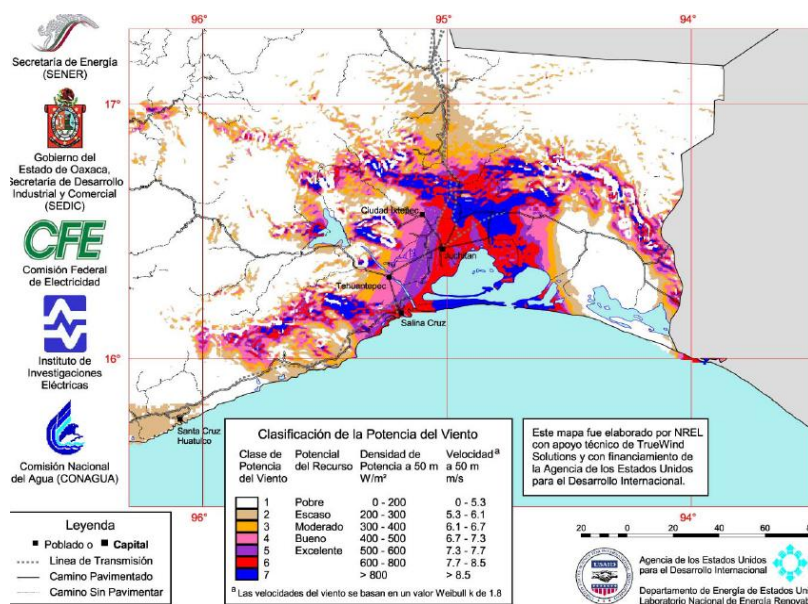
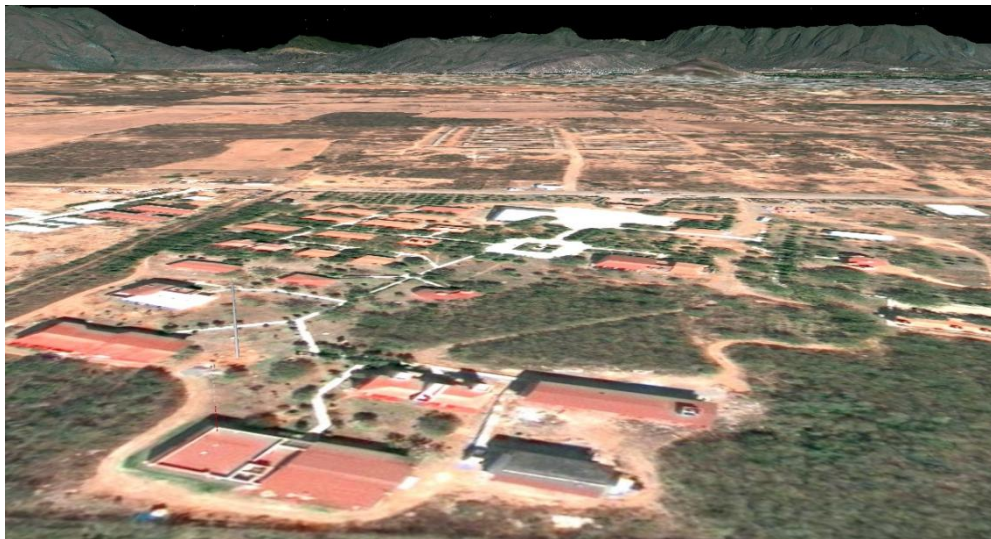


Figura 1 Mapa del Istmo de Tehuantepec, Wind Atlas, Oaxaca

Desde 1994 que se puso en marcha el primer parque eólico en la Venta, municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, el desarrollo ha ido en aumento en la región, por lo que se están desarrollando más estudios en los municipios inmediatos, que cuentan con el recurso eólico. A la par con los estudios iniciales de recurso eólico, se analizan los efectos ambientales que los aerogeneradores pueden propiciar al medio en el que se emplazarán. Los estudios que se realizan para ello incluyen generalmente el análisis, a través de simulación por medio de software del ruido que puede propiciar el aerogenerador, así como determinar cuál es la zona de influencia visual entre otros.

1.1.- Descripción y Ubicación de la zona de estudio

El estudio consiste en la instalación de un parque eólico con una potencia instalada de 1.5 MW, el cual consta de 1 aerogenerador de 1500 kW, buscando generar energía eléctrica para autoabastecimiento de la Universidad de Istmo (Unistmo), localizada en la zona de Santa Cruz Tagolaba, en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, determinando además los efectos ambientales derivados del funcionamiento de este, en la Figura 2 se puede observar la localización del sitio.



*Figura 2 Estación Meteorológica Unistmo,
Santa Cruz Tagolaba*

2.- Condiciones experimentales

2.1.-Valoración del Recurso Eólico

Este estudio se ha realizado con infraestructura del Instituto de Estudios de la Energía de la Universidad del Istmo, que cuenta con una estación meteorológica en el emplazamiento, ubicada en las coordenadas -95° 24 longitud oeste, 16° 29' latitud norte, a 10 m de altura, con un promedio de 40 metros sobre el nivel del mar.

Mediante el Software Wasp 9.0 de RISO DTU (NREL), se ha realizado las simulaciones correspondientes a la valoración del recurso y producción energética. Los datos fueron extrapolados, a la altura del hub del aerogenerador, de lo que se obtuvo como resultado lo observado en la Tabla 1. Estos valores han sido utilizados como referencia para la estructuración del parque.

Tabla 1 Características del Emplazamiento

Variable	Total	Mínima	Máxima
Weibull-c[m/s]	10.7	9.2	18.8
Weibull-k[m/s]	1.27	1.17	1.32
Elevación[m]	53.2	23.0	375.0
Velocidad Promedio[m/s]	9.92	8.57	17.61

2.2.- Selección de la Turbina y Características de la Turbina

Dentro de los factores claves en la elección del modelo de aerogenerador a instalar; está la presencia de empresas del sector eólico, considerando el tipo de turbinas que han instalado en la zona del Istmo de Tehuantepec, aunado a esto, se ha considerado las características del sitio para la selección de la turbina óptima[3].

Tabla 2 Características del Aerogenerador Acciona AW 82/1500 Clase IIIb

No. de aerogeneradores	1	Diámetro del rotor	82 m
Potencia nominal	1500 kW	Velocidad Nominal	11.6 m/s
Potencia instalada	1.5 MW	Velocidad Nominal	11.6 m/s
Altura del Hub	80 m	Velocidad de Corte	20.0 m/s
Manufacturado por Acciona Energía(www.acciona.es)			

Por lo que se ha seleccionado el Aerogenerador [3]Acciona AW 82/1500 Clase IIIb, el cual se muestra en la Tabla 2, y su curva de potencia Figura 3.

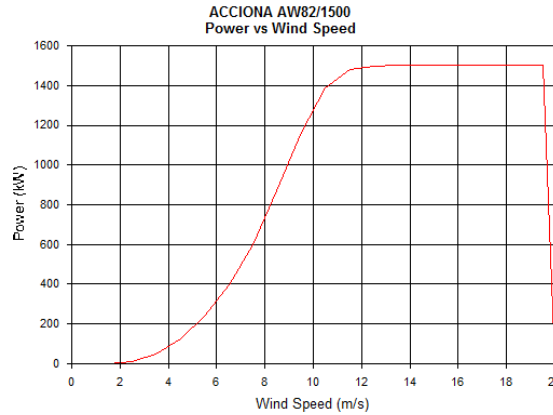


Figura 3 Curva de Potencia Aerogenerador Acciona AW 82/1500 Clase IIIb

2.3.- Modelo de Ruido

El Software Windfarm de ReSoft, cuenta con diferentes opciones para realizar sus cálculos, considerando información específica que se integra al modelo del aerogenerador, implementando las condiciones de referencia de ruido, el cual está basado en el Modelo Danés de ruido.

2.3.1.- Modelo Danés de Ruido

Este modelo utiliza el modelo de propagación de ruido para turbinas de viento, especificados en la Orden legal Danesa [2], a través de la Agencia Nacional para la Protección del Medio Ambiente a través de su ministerio.

2.3.1.1.- Evaluación de una turbina

Uno de los apéndices del documento de la Agencia Internacional de Energía (AIE) proporciona un método para estimar el nivel de presión sonora de una turbina o un grupo de turbinas a una distancia r , siempre y cuando se encuentre en terreno plano y abierto [4,5,6].

La absorción atmosférica ΔL_a , puede calcularse a partir de $\Delta L_a = ra$, donde a es el coeficiente de absorción de sonido en cada banda de octavas dados en dB/m ó $a = 0.005 \text{ dB m/s}$, como se sugiere en la Orden Legal Danesa sobre el ruido de molinos de viento [2]. El nivel de presión acústica (L_p) se obtiene mediante Formula (1).

$$L_p = L_w a - 10 \cdot \log_{10} \{ 2 \cdot \pi \cdot r^2 \} - a \cdot r \quad (1)$$

r , es la distancia al eje de la turbina y Lw es especificado como nivel de potencia sonora, (20 μ Pascales). Si se incluye una restricción de ruido, mediante una penalización de 5 dB, para la presencia de tonos "claramente audibles" dentro del ruido emitido por una turbina[5], definidas como "prominentes". Por lo tanto, la carga de ruido, Lr , se define como $Lr = Lp$, si no hay claridad de tonos audibles o $Lr = Lp + 5$, si están presentes tonos claramente audibles. Si Lwa se dan en datos de banda de octavas 1/1, entonces para $Lwa = \{Lwa(i)\}$, cuando $i = 1 \dots n$, es:

$$Lp = 10 \cdot \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^{i=n} 10^{Lp(i)/10} \right\} \quad (2)$$

Donde:

$$Lp(i) = Lwa(i) - 10 \cdot \log_{10} \left\{ 2 \cdot \pi \cdot r^2 \right\} - a(i) \cdot r \quad (3)$$

y $a(i)$ se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3 Coeficiente de atenuación por bandas de octavas

Hz	dB(A)	Coeficiente de Atenuación dB(A)
63	70.20	0.0000
125	87.80	0.0000
250	92.60	0.0010
500	95.80	0.0020
1000	91.80	0.0040
2000	90.50	0.0070
4000	89.30	0.0170
8000	81.20	0.0560

Dentro del modelo se incluye datos como los son:

- Modelo de propagación de Ruido.- Se realiza con la selección de la banda ancha y la difusión por octavas, no considerando la altura del terreno, no se incluye la línea de cálculo visual.
- Velocidad del viento y altura.- Que indican las condiciones de referencia a la que se ejecutarán los cálculos, en este caso se requiere que la información sea introducida a la

página de ruido del Software. Es importante señalar que el nivel de potencia acústica de una turbina, L_{wa} , varía si la altura (m), del buje del aerogenerador se cambia, así como la velocidad del viento (m/s). Como lo indica la directiva Danesa [4,5,6], L_{wa} , ref. (como referencia). En este caso se utilizó una velocidad de 9.92 m/s y 80 m de altura. llamada línea de regresión de la pendiente.

c) Perfil de Viento y rugosidad.- El nivel de potencia acústica depende también del perfil del viento en el sitio de medición del ruido. Como las condiciones de referencia del emplazamiento integradas al modelo son diferentes, se ha especificado un factor de rugosidad para el sitio, considerando un valor de 0.4 para el emplazamiento, (zona de árboles y algunas construcciones).

2.4.- Cálculos de la Zona de Influencia Visual (ZVI)

Uno de los problemas a considerar y que no puede ser ignorado, es la intrusión visual en el paisaje que es la objeción más frecuentemente hecha contra los aerogeneradores y uno de los factores principales que determina las actitudes públicas contra la aplicación de la energía eólica. Para definir los límites de los múltiples efectos visuales, pueden considerarse cuatro factores: largo de las palas, intrusión visual, dominancia visual y visibilidad.

Para este cálculo, se utilizó un modelo simple basado en el software Windfarm, para el cálculo de un parque eólico con cierto número de turbinas de viento, el cual identifica el número de turbinas seleccionadas, como un punto visible dentro de la zona. Es aplicado un método de conteo, con un número máximo permitido de turbinas, considerados como puntos para cada rango determinado de número de turbinas visibles. El punto visible que es percibido, se basa en la altura del hub del aerogenerador, tomando en cuenta una distancia medida en metros o kilómetros, que es visualizada en radios. En este caso solo se instalará una turbina, utilizando un coeficiente de refracción atmosférica de 0.075.

3.- Resultados y discusión

3.1.-Producción Energética

De acuerdo al estudio realizado en la zona, se han registrado los siguientes valores de la producción del aerogenerador, ver Tabla 4.

Tabla 4 Resultados de la simulación del parque

<i>Variable</i>	<i>Promedio</i>
Velocidad Promedio [m/s]	9.86
Densidad de Potencia [W/m ²]	2114
Producción de energía Neta [GWh]	5.542
Producción de energía Bruta[GWh]	5.542
Perdidas por estelas [%]	0

3.2.- Impacto ocasionado por el Ruido

Considerando que los aerogeneradores emiten ruido derivado de su propio funcionamiento, para el cual el grado de molestia de un parque eólico se puede definir por cuatro factores importantes: el sonido de fondo existente, el propio ruido producido por cada aerogenerador, la posición de las turbinas y la distancia a la que se encuentran el aerogenerador del receptor.

El terreno donde se instalará el aerogenerador (Unistmo), es plano; posee algunos edificios, pequeños árboles y arbustos que pueden absorber el ruido producido por el aerogenerador. El aerogenerador Acciona AW 82/1500, cumple con las especificaciones del nivel de ruido permitido por las leyes mexicanas, según la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-(1994) creada por la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de emisión.

Basado en lo anterior, se toma en cuenta que el ruido máximo permitido para los humanos es de 65 dB(A), por lo que de acuerdo con los resultados de la simulación presentada en la Figura 4 se puede observar que el aerogenerador propuesto cumple con los límites máximos permitidos de ruido. Tomando en cuenta que la fuente de ruido se encuentra en la góndola del aerogenerador (cima de la torre) y el nivel de ruido emitido por este es de 60 dB en el centro de la turbina. El nivel marcado por 50 dB es el radio en el que se encuentran los edificios más cercanos, como los laboratorios de Energía y talleres de Diseño de la

Unistmo. Los 26 dB(A) los alcanza en los límites de la carretera Transistmica, ruido que no sería perceptible en esa zona dado que el ruido de fondo y el generado por los camiones es mucho más alto, dado lo transitada de esa vía. Se considera como factor poco significativo para la población más cercana, ya que el nivel de afectación se encuentra entre los rangos de 30dB y 20 dB permisibles, comparados con otro tipo de actividades Figura 5.

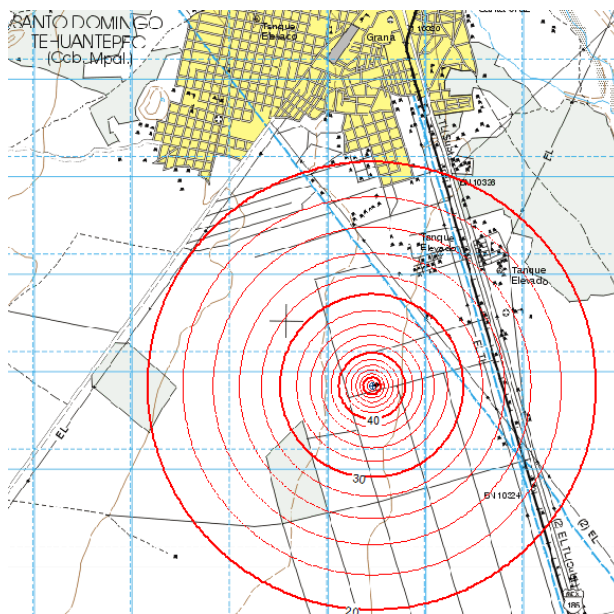


Figura 4 Simulación de ruido de un aerogenerador emplazado en las instalaciones de la Unistmo

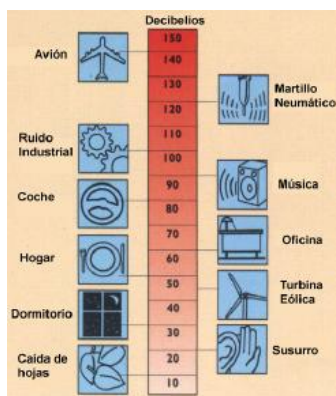


Figura 5Escala de niveles de Sonido permisibles

3.3 Zona de Influencia Visual (ZVI)

Uno de los problemas a considerar y que no puede ser ignorado, es la intrusión visual en el paisaje que es la objeción más frecuentemente hecha contra los aerogeneradores y es uno de los factores principales que determina las actitudes públicas contra la aplicación de la energía eólica.

Para definir los límites de los variados efectos visuales, pueden considerarse cuatro factores: largo de las palas, intrusión visual, dominancia visual y visibilidad.

La zona de influencia visual del aerogenerador es muy grande, de hecho el análisis paisajístico constata la alta perceptibilidad del parque partiendo de un punto central en su envolvente de 11 km a la redonda, y debido a la altitud del espacio donde se colocó, su carácter dominante. En la Figura 6, se observa que la ciudad de Santo Domingo Tehuantepec es una de las zonas de influencia visual importante por el impacto que podría ocasionar en sus habitantes.

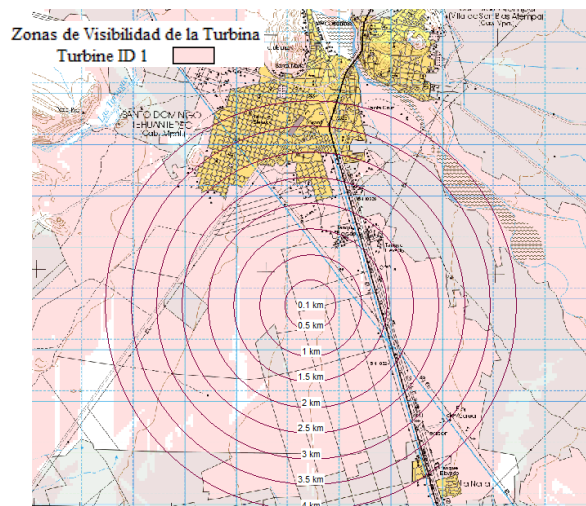


Figura 6 Simulación de la zona de influencia visual de un aerogenerador emplazado en las instalaciones de la Unistmo

Para evaluar el impacto visual del aerogenerador, se presenta un fotomontaje; el cual se basa en una fotografía tomada aproximadamente a 500 m desde el norte dado que desde esa zona se tendría mayor impacto visual. Esta vista se presenta sin proyecto y con proyecto (fotomontaje de aerogenerador).



Figura7 Fotografía de la zona sin y con aerogenerador en la zona de emplazamiento (Unistmo)

En la Figura 8, se observa en una vista satelital, el aerogenerador Skystream3.7WindPower el cual ya se encuentra instalado en la Unistmo y el Acciona AW82/1500 propuesto. También se aprecia la diferencia en tamaño de los dos aerogeneradores por lo cual el más pequeño no se observa en la foto anterior, debido a la altura a la que se encuentra y que su visibilidad es bloqueada por los arboles cercanos.



Figura 8 Vista espacial simulada de los aerogeneradores en el emplazamiento

4.- Conclusiones

Los resultados de este estudio, evidencian que la zona de Santa Cruz Tagolaba, es un emplazamiento factible debido a que presenta un Recurso Eólico favorable, con una velocidad media anual de 9.92 m/s, dado esas circunstancias, se seleccionó el aerogenerador óptimo para este sitio.

Considerando que un paisaje, no se mantiene en silencio absoluto, debido al ruido de fondo de su entorno, donde muchas veces el propio viento es uno de los principales factores con un ruido aproximando de 25 dB(A). Por lo que los resultados anteriores, nos muestra un panorama favorable para el sector de la Industria Eólica, en cuanto a efectos adversos a la población.

Cada persona tiene una percepción única, actualmente no existe una aprobación general acerca de las evaluaciones del paisaje, por eso es necesario realizar encuestas para llevar a cabo las mediciones de este estudio.

5.- Agradecimientos

Se extiende el agradecimiento al Instituto de Estudios de la Energía de la Universidad del Istmo, por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio, así como la información proporcionada.

6.-Referencias

- [1] D. Elliott, M. Schwartz, G Scott, S. Haymes, D. Heimieller, R. George, *Atlas del Recurso Eólico del Estado de Oaxaca*, Laboratorio Nacional de Energía Renovable y Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC) del Gobierno del Estado de Oaxaca, (2004)
- [2] The Danish Ministry Of The Environment National Agency For Environmental Protection, *Description Of Noise Propagation Model Specified By Danish Statutory Order On Noise From Windmills*, 304, (1991).
- [3] G. Hernández, O. Lastres, O. Prost, S. Pathiyamattom and J. R. Dorrego, An Analytical Procedure for Optimal Sizing of Wind Turbines in Different Wind Regimes, *Journal of Materials Science and Engineering*, Vol.4, No.2, 27 (2010).
- [4] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, *WindEnergy Handbook*, John Wiley and Sond, Ltd. Baffins Lane, England, 2001.
- [5] IEA, *Recommended Practices for Wind Turbine Testing*, (after IEA, 1994, and BS EN 61400–11).
- [6] IEC, *Lightning protection for wind turbines. Committee Draft*, IEC-61400-24, (2000a), and IEC (BS, 1999, IEC, 1998).

[7] Álvaro Pinilla S, *Manual de Aplicación de la Energía Eólica*, Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas, Inea, 1997.