



Title: Non-homogeneity of energy density in a vertical wind profile for open sky laboratory tests.

Authors: SOTO-OSORNIO, Juan Emigdio, SUÁREZ-ROMERO, José Guadalupe, HERNÁNDEZ-ARRIAGA, Isaac and RODRÍGUEZ-ZALAPA, Omar

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2022-01
BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 19
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua



ECORFAN®

Contenido

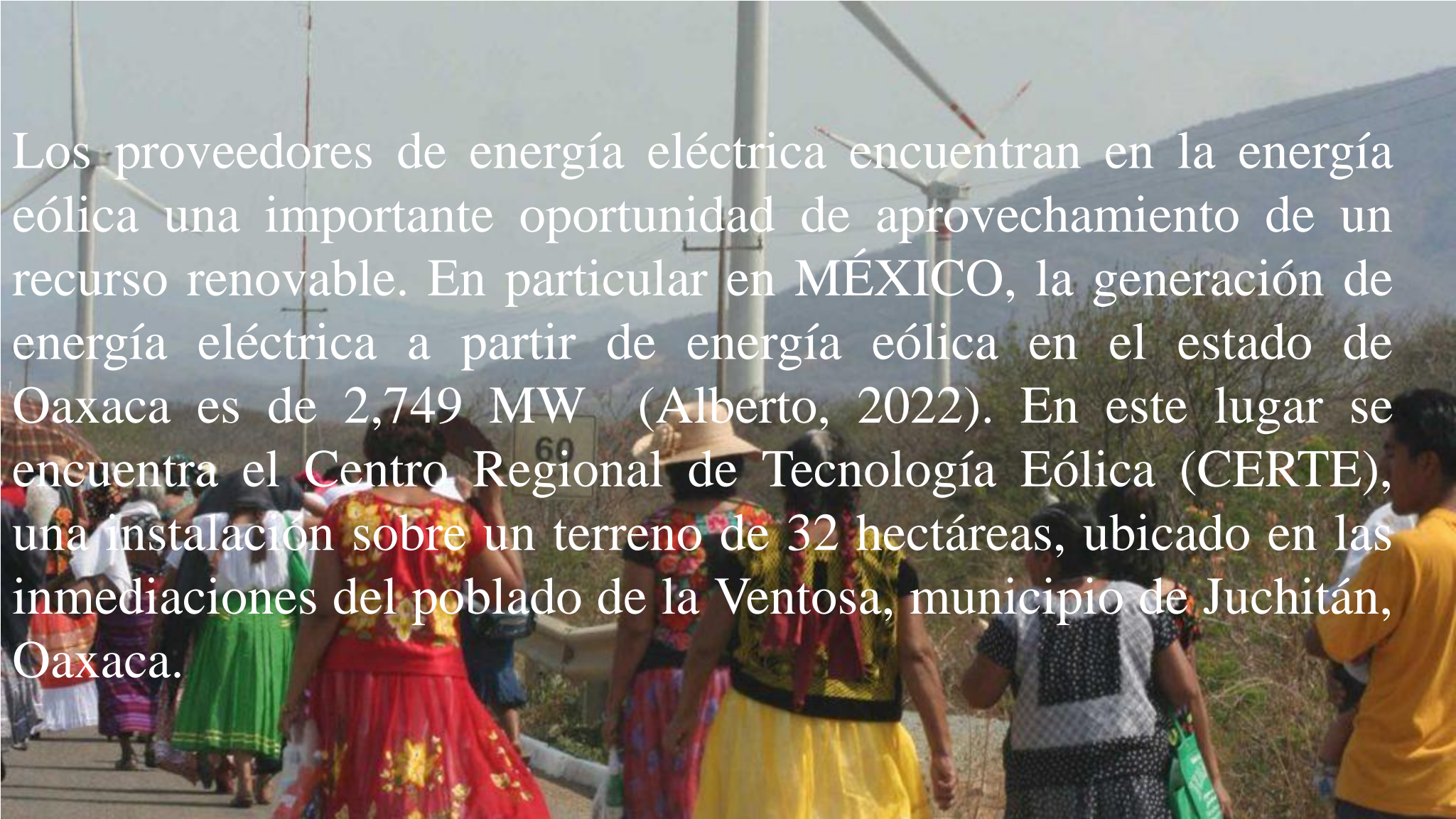
- Introducción.
- Metodología.
- Modelo Teórico.
- Resultados.
- Conclusiones.
- Referencias.
- Agradecimientos.



Introducción

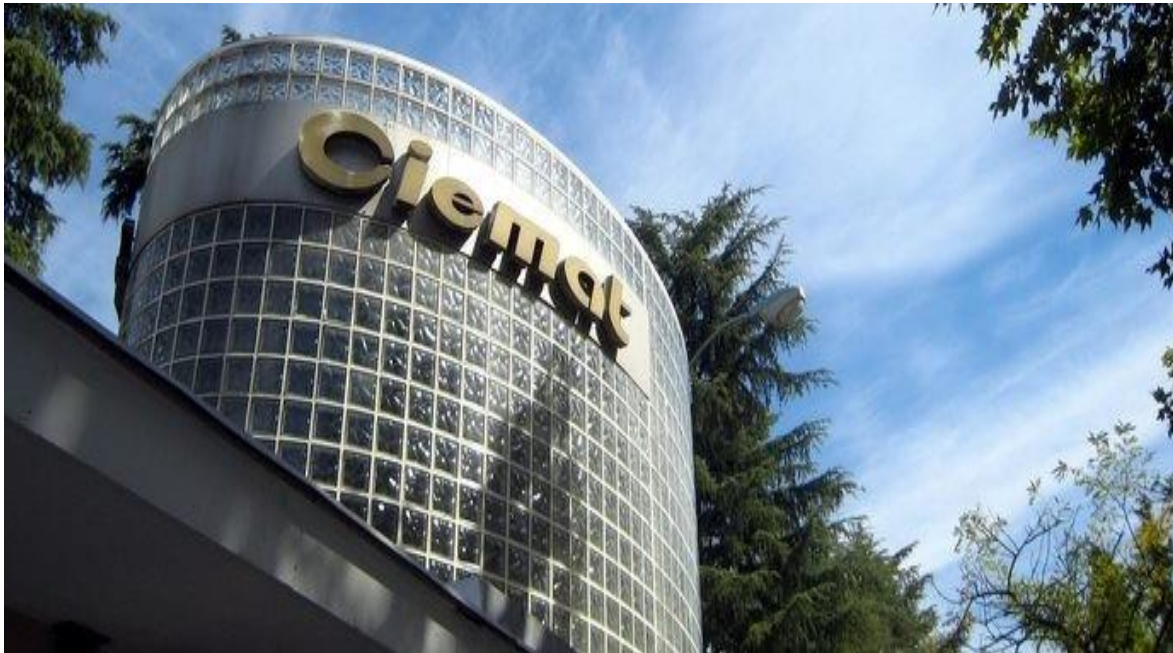
El consumo de energía eléctrica cada vez es mayor por el crecimiento del número de usuarios, cuyas necesidades de demanda eran más limitadas que ahora. A diferencia de hace algunos años las necesidades se han incrementado debido a las tecnologías de la información en conjunto con la aparición de la industria 4.0.



A group of people, primarily women wearing colorful traditional Oaxacan dresses and blouses, are walking along a paved path. In the background, several large white wind turbines are visible against a hazy, mountainous landscape. The scene is set in a rural area, likely near the Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE) in Juchitán, Oaxaca.

Los proveedores de energía eléctrica encuentran en la energía eólica una importante oportunidad de aprovechamiento de un recurso renovable. En particular en MÉXICO, la generación de energía eléctrica a partir de energía eólica en el estado de Oaxaca es de 2,749 MW (Alberto, 2022). En este lugar se encuentra el Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE), una instalación sobre un terreno de 32 hectáreas, ubicado en las inmediaciones del poblado de la Ventosa, municipio de Juchitán, Oaxaca.

Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)



Centro de investigaciones
Energéticas, Medioambientales y
Tecnológicas (CIEMAT)

Metodología

Consideraciones de diseño

De acuerdo a la Norma IEC61400-2 las pruebas para verificar los datos de diseño de un aerogenerador son la potencia, velocidad rotacional, torque del eje y la velocidad máxima rotacional de diseño.





Los laboratorios realizan ensayos a las palas de tipo estático y dinámico (IEC TS-61400-23), en el tren de potencia mecánica y eléctrica, a la curva de potencia(IEC61400-12-1), ruido acústico (IEC 61400-11), calidad de energía (IEC 61400-13) y cargas mecánicas (IEC 61400-21).

La norma IEC61400-12-1 define en el punto 6.2 que la velocidad del viento a medir es la magnitud promedio de la componente horizontal del vector velocidad que incluye solo las componentes de la turbulencia longitudinal y lateral pero no la componente vertical.



Modelo teórico

Los perfiles de viento debajo de la capa atmosférica se modelan a través de una función exponencial

$$V_z = V_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha \quad (1)$$

La función logarítmica

$$V_z = V_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_o}\right)} \quad (2)$$

La ecuación de conservación de energía para un sistema abierto está dada por

$$\frac{d}{dt} e_v(\vec{r}, t) + \vec{\nabla} \cdot e_v(\vec{r}, t) \vec{u}(\vec{r}, t) = \vec{\nabla} \cdot \tilde{\sigma} \vec{u}(\vec{r}, t) + f_v \cdot \vec{u}(\vec{r}, t) + \vec{\nabla} \cdot \vec{q} \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot e_v(\vec{r}, t) \vec{u}(\vec{r}, t) = \vec{\nabla} \cdot \tilde{\sigma} \vec{u}(\vec{r}, t) \quad (4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \left[\rho \left(\frac{1}{2} \vec{u}(\vec{r}, t) \cdot \vec{u}(\vec{r}, t) + u'_m + \frac{p}{\rho} \vec{u}(\vec{r}, t) \right) \right]_v = \vec{\nabla} \cdot \tilde{\tau} \vec{u}(\vec{r}, t) \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} f_k(x, y, z) u_z(y) = \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yz} u_z(y) \quad (6)$$

Considerando el aire como un fluido Newtoniano nuestro modelo propuesto

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} u_z(y)\right) u_z(y) + \left(\frac{\partial}{\partial y} u_z(y)\right)^2 - \frac{g(y)u_z(y)}{\mu} = 0 \quad (7)$$

Donde

$$g(x, y, z) = \frac{\partial}{\partial z} f_k(x, y, z) \quad (8)$$

$$\tau_{yz} = \mu \frac{\partial}{\partial y} (u_z(y)) \quad (9)$$

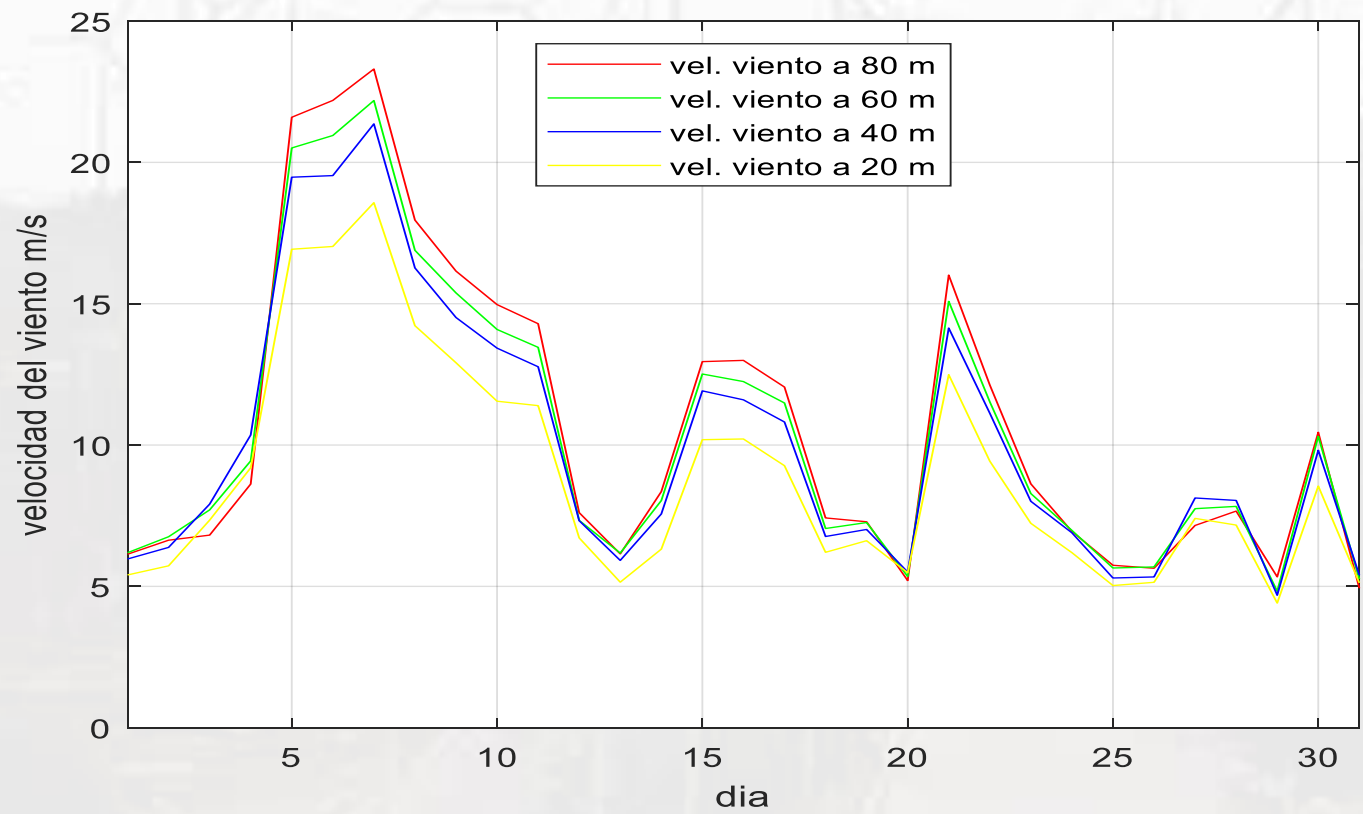
El coeficiente de potencia es parámetro principal para obtener la potencia mecánica del aerogenerador. La cantidad de potencia que se puede extraer del aire a través de un aerogenerador depende del valor máximo que puede tener el C_p conocido como límite de Betz $C_p = 0.593$

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho Au_z^3} = \frac{P}{Au \left(\frac{1}{2}\rho u_z^2\right)} \quad (10)$$

$$C_p = \frac{P}{Au \left(\frac{1}{2}\rho u_z^2 + h\right)} \quad (11)$$

Resultados

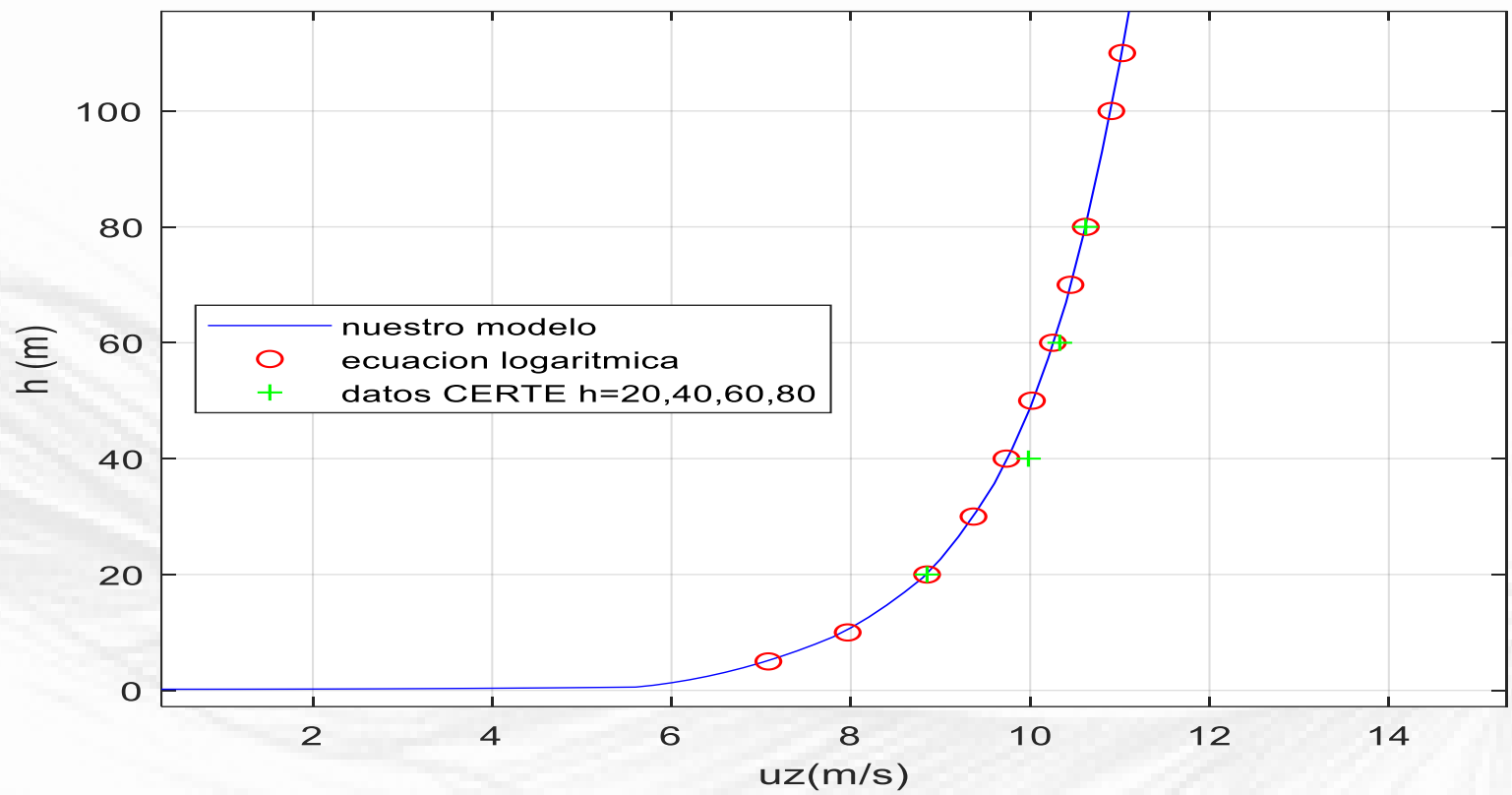
Un laboratorio a viento libre en territorio mexicano se tiene que adecuar a los vientos de MEXICO. Se cuenta con datos disponibles de los vientos típicos de la región Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, gracias al CERTE que publica valores medidos de presión, temperatura, velocidad y dirección del viento a diferentes alturas a lo largo del año, estos datos están disponibles en <http://aems.ineel.mx/>.



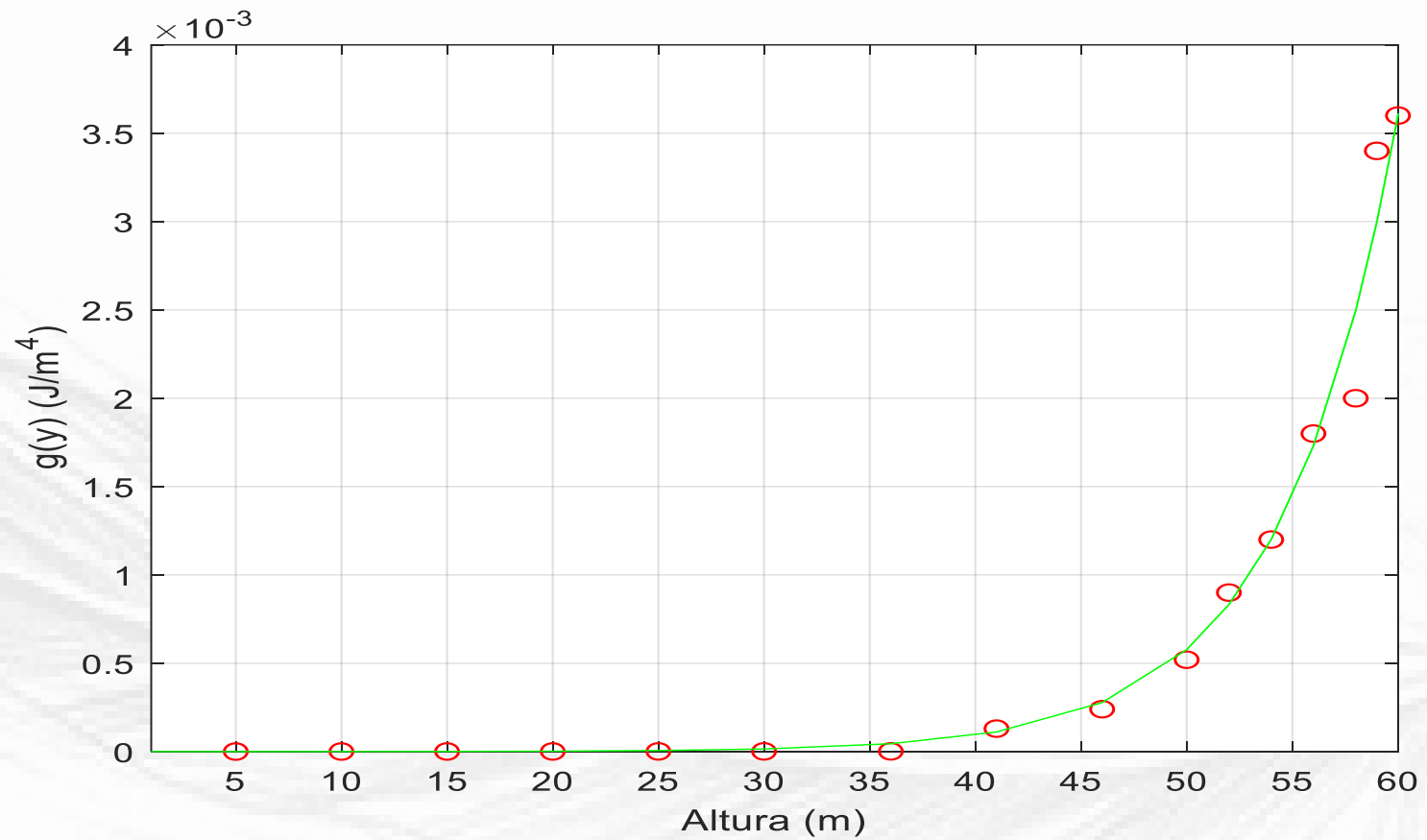
Comportamiento del viento a diferentes alturas para marzo 2021, en la región de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca

El promedio de la velocidad del viento a una altura de 20 m es de 8.85 m/s, que sería nuestra altura de trabajo hipotética.

Los datos experimentales anteriores de velocidad del viento se usan para modelar el perfil vertical del viento de la ecuación (7) y obtener un perfil de velocidades semejante, así como calcular la función de densidad de energía



Perfil vertical de velocidad del viento marzo 2021



Gráfica de la derivada de la densidad de energía, función $g(y)$

Eje de rotación	Horizontal
Orientación del rotor	Barlovento
Clase	III-S
Numero de aspas	3
Diámetro del rotor	12 m.
Altura del cubo	20.5
Coeficiente de desempeño	0.48
Potencia nominal eléctrica	30 kW
Velocidad de viento nominal	10.5 m/s
Velocidad anual promedio	7.5 m/s
Área de barrido	113 m²
Dirección de rotación	Horario

Características generales del aerogenerador desarrollado por

CIATEQ A. C.

Conclusiones

La hipótesis de construir un nuevo modelo teórico considerando la entalpia se cumple ya que la comparación de las curvas; modelo teórico, datos experimentales del CERTE son similares.

La densidad de energía calculada contiene no solo la energía cinética del viento si no también la energía térmica disponible, es decir la entalpia.

Se comparó el valor del coeficiente de potencia considerando solo la energía cinética del viento, con el valor respectivo tomando en cuenta la entalpia, la diferencia es de solo 4.56%, para determinar el impacto de este porcentaje es recomendable una nueva investigación en la cual se compare los datos a viento libre con los valores experimentales en un túnel de viento.

Referencias

- [I] Alberto, Rodríguez O Leopoldo A. (07 de 01 de 2022). *Asociación Mexicana de energía eólica*. Obtenido de <https://amdee.org/mapas-eolicos.htm>
- [II] INNEL. (08 de 02 de 2022). *Instituto Nacioanal de Electricidad y Energías limpias*. Obtenido de <https://amdee.org/mapas-eolicos>
- [III] CENER. (06 de 02 de 2022). *Centro Nacional de Energías Renovables* . Obtenido de cener <https://www.cener.com/areas-de-investigacion/energia-eolica/>
- [IV] CIEMAT. (01 de 02 de 2022). *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*. <https://www.ciemat.es/cargarLineaInvestigacion.do?identificador=2&idArea=1>
- [V] Yu Cheng, MIngming Zhang, Ziliang Zhang, Jianzhong Xu. (2019). A new analytical model for wind turbine wakes based on Monin-Obukhov similarity theoryA. *Applied Energy*, 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.225>
- [VI] Jaeha Ryi, Wook Rhee, Ui Chang Hwang, Jong-Soo Choi. (2015). Blockage effect correction for a scaled wind turbine rotor by using wind tunneln test data. *Renewable Energy*, 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.057>
- [VII] J.F. Manwell, J.G.Mcgowan, A.L. Rogers. (2009). *Wind Energy Explained*. Great Britain: Wiley.
- [VIII] Thomas, A. (2009). *Wind Power in Power Systems*. Chichester, England: Jhon Wiley & Sons.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)