

CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO, PARA CONVERTIR LA ENERGÍA DEL FLUJO DE AIRE DE UN CONDENSADOR INDUSTRIAL EN ENERGÍA ELÉCTRICA

José Roberto Yáñez Espinosa , Fernando Osvaldo González Manzanilla² Rodolfo García y Huerta , José Andrés Yáñez Ramos , Jesús B. Marcos²
 Instituto Tecnológico de Puebla
 Universidad Politécnica de Puebla
ing.jryaes@hotmail.com

RESUMEN

Algunos de los problemas ambientales actuales: inundaciones, sequías severas, recurrencia de ciclones, descongelamiento de glaciares, adelanto o retraso del invierno etc., están relacionados con el exceso del consumo de hidrocarburos para producir energía, razón que motiva al uso de energías alternativas. El presente trabajo plantea la utilización del flujo de aire de un condensador industrial para transformar la energía eólica en eléctrica, empleando un generador específico para el caso fabricado especialmente para el caso e integrando algunos componentes reciclados, se muestran el diseño, los cálculos, así como los resultados obtenidos.

Palabras clave: Energía, eólica, condensador evaporativo, generador, energía eléctrica, impacto ambiental.

1. Introducción

La Revolución Industrial estuvo asociada a los avances de la ciencia que permitieron comprender el funcionamiento de las máquinas térmicas al hacerlas más eficientes y a la construcción de nuevos dispositivos como los motores y generadores eléctricos que ayudaron a aumentar la productividad del trabajo. Desafortunadamente, la suposición de energía abundante y barata entorpeció la reflexión en las consecuencias del derroche de los recursos energéticos de ese momento.

La problemática ambiental debida al exceso de emisiones de CO₂, por la utilización de combustibles fósiles de la industrialización, ha llevado a la búsqueda y uso de energías alternativas no contaminantes, para mitigar el daño a la atmósfera y el uso de energías renovables ha venido en aumento desde el siglo pasado.

Las energías alternativas, llamadas alternativas por sustituir las fuentes actuales de energía y renovables porque su origen es capaz de renovarse o prácticamente inagotable, por ejemplo el sol, en un día, envía a la tierra varias veces la energía que consume la humanidad en un año.

Dentro de las energías renovables se encuentran: la solar (aprovecha la radiación electromagnética del sol), la geotérmica (aprovecha el calor de la tierra), la hidráulica (aprovecha las energías potenciales y cinéticas de las corrientes naturales de agua), la mareomotriz, (aprovecha el movimiento de las mareas para producir electricidad) y la eólica (la obtenida del viento) entre otras, la energía nuclear, (obtenida a través de reacciones nucleares) es polémica, pues si bien algunos expertos la consideran limpia, por no arrojar contaminantes a la atmósfera, el hecho de que los residuos de la fisión nuclear como el plutonio 240 y el neptunio 237 cuya vida media es de 6,600 y 2,130,000 años respectivamente, causa mucha polémica debido a que las empresas dedicadas a su confinamiento no pueden garantizar tales períodos de vida, lo que acarrea un compromiso ético y moral para la seguridad de las futuras generaciones, al margen de los accidentes nucleares más sonados (Chernóbil, en Ucrania y Fukushima en Japón) que recuerdan a la humanidad el riesgo del uso de este tipo de energía.

2. Energía eólica

La energía eólica, es la energía renovable con mayor crecimiento para la generación de energía eléctrica. La energía eólica proviene de manera indirecta del sol, una fuente ilimitada de energía a escala humana. El viento se genera por el diferencial de temperaturas de las masas de aire en la atmósfera terrestre, debido a que el aire caliente tiende a subir y el frío a bajar ocasiona su circulación y se convierte en energía cinética.

Así, la energía eólica es aquella obtenida del viento, de la fuerza generada por el aire en movimiento, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o los molinos de viento.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales del 2007, la

capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 GW. (Comisión Federal de Electricidad 2008).

La energía eólica está teniendo un gran auge alrededor del mundo, tan solo de 2006 a 2007 Estados Unidos incremento su capacidad instalada en un 45%. En el año 1997, México ya contaba con una capacidad instalada de 2.4 GW, aprovechando el importante recurso del viento con plantas generadoras ubicadas principalmente en el estado de Oaxaca [2].

Las Ventajas de la energía eólica son:

- Ser renovable, es decir, inagotable.
- No emite contaminación.
- Mejora la competitividad en el mercado de la energía.

Como resultado de la creciente preocupación con el medio ambiente, se están haciendo esfuerzos para minimizar el impacto ambiental. Por lo antes expuesto, este artículo presenta la implementación en una empresa que produce alimentos, de un dispositivo convertidor de energía, para aprovechar el flujo del aire de un condensador evaporativo, transformando la energía eólica en eléctrica para utilizarla en un área determinada de la misma empresa.

3.1 Elementos industriales de análisis.

Un condensador evaporativo, es un equipo cuya función es condensar un gas que se inyecta al proceso absorbiendo calor mientras se evapora en su recorrido de refrigeración y absorbe calor, volviendo al equipo para de nueva cuenta condensarse, requiriendo de un enfriamiento para ello, el proceso en detalle se describe más adelante.

Su principio de funcionamiento se presenta en la Figura 1, y se basa en un gas sobrecalentado a alta presión que entra al condensador y pasa primeramente por el calentador, que es un intercambiador de calor tipo casco y tubo, el cual se fabrica de acero inoxidable, tubo rolado y soldado con acabado espejo. En este intercambiador se logra un primer subenfriamiento del gas, quitándole aproximadamente el 12% del calor lo cual permite llegar más frío al serpentín condensador y con menor energía para el efecto de evaporación, lo que permite un menor consumo de agua (12%) y un mayor subenfriamiento del líquido en la salida. Por otro lado, el calentador se alimenta desde la bomba recirculadora que la toma de un depósito. El gas sigue su curso por el serpentín condensador permitiendo su condensación a lo largo del viaje hasta llegar al cabezal colector de líquido, el volumen de gas que fluye por cada tubo es relativamente reducido (tubo de 3/4") para la distancia del viaje y que al tener una pared muy delgada la resistencia al intercambio de calor es muy baja lo que permite su rápido enfriamiento,

liquificación y subenfriamiento. Aquí el intercambio de energía se da por la acción del aire y del agua que interactúan para mantener siempre una temperatura adecuada de condensación, muy cercana a la temperatura ambiente. La bomba toma agua desde el depósito, la pasa a través del calentador, sigue hacia las espreas, la distribuye homogéneamente sobre toda la tubería, al caer en forma de una delgada película de agua, ésta, enfría al serpentín extrayendo calor desde el refrigerante y a su vez por la acción del aire, la energía ganada por el agua es expulsada a la atmosfera en forma de vapor de agua y aire caliente [3].

El efecto de la humedad en el ambiente tiene un impacto directo sobre la operación, ya que esto afecta la temperatura a la que se da la evaporación y el principal intercambio de energía. Obteniendo con ello un ahorro de energía y una disminución en el impacto ambiental. [13]

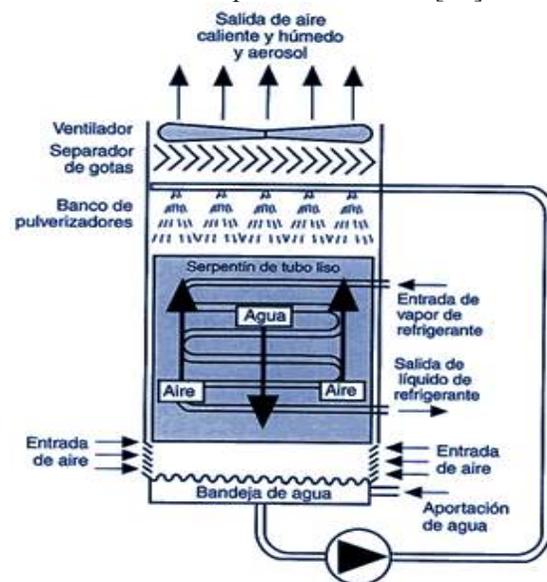


Figura 1. Principio de operación de un condensador industrial [12].

La figura 2 representa un condensador evaporativo industrial en el que se puede aplicar un dispositivo de transformación de energía.



Figura 2. Condensador Evaporativo Industrial [14].

3.2 Principios de alternador y generador eléctrico

Un alternador, es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética, los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y su valor del flujo que lo atraviesa para que haya movimiento y genere energía.

Generador eléctrico. Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes, es una máquina eléctrica que realiza el proceso inverso de un motor eléctrico, el cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadada para obtener una corriente continua.

Los generadores eléctricos son aparatos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Por lo tanto, la energía mecánica que hace rotar la bobina se convierte en energía eléctrica. [15].

4 Propuesta para implementación del dispositivo convertidor de energía, en el equipo condensador evaporativo

El dispositivo propuesto (generador eólico) consiste de un ventilador interaccionando, un alternador, figura 3, el cual está construido a base de imanes, el cual producirá alrededor de 12V, para almacenar la energía eléctrica en baterías recargables.

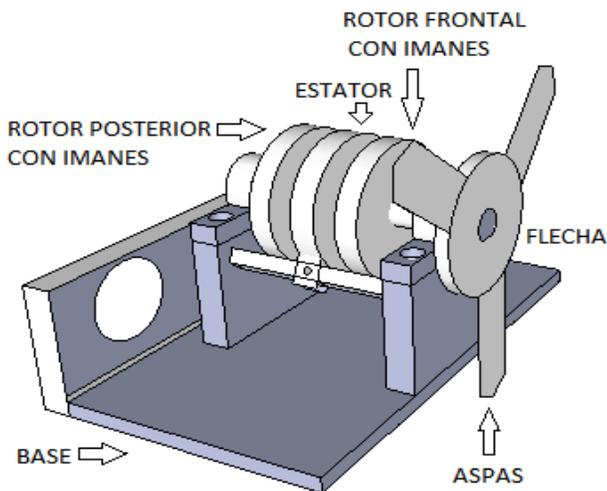


Figura 3. *Generador Eólico propuesto.*

En la perspectiva de posibilitar el abastecimiento de energía eléctrica de la iluminación del patio de

una empresa que actualmente cuenta con 5 lámparas, de de 1000W cada una, las que se pueden reemplazar por lámparas leds de 100W, que proporcionarán la misma luminiscencia. La implementación consiste en:

- Medición de la velocidad del aire en la entrada y salida de aire del condensador
- Determinar demanda de energía de la luminarias
- Cálculo del generador eléctrico en función de la potencia.

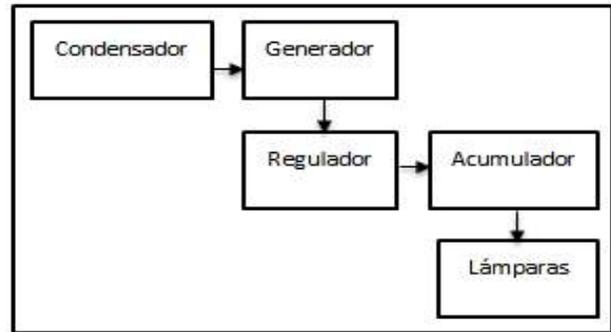


Figura 4. *Diagrama del ensamble.*

4.1 Implementación.

Conociendo la velocidad del flujo de aire del condensador, podremos calcular la amplitud de la señal generada en voltios, la cual será indispensable para determinar si el dispositivo tiene una eficiencia viable.

Ecuaciones para calcular el generador eléctrico:

Al hacer girar mecánicamente el eje del generador, la frecuencia y la tensión de la señal de salida, aumentan proporcionalmente con la velocidad de giro del eje.

Se puede encontrar que para un enrollado de estator de p (polos), frente al cual gira a ns velocidad de giro, un campo magnético también de p polos, la frecuencia del voltaje generado está dada por la ecuación (1) [10].

$$f = \frac{pns}{120} \quad (1)$$

Dónde:

f: Frecuencia (Hz)

p: Número de polos (siempre debe ser par)

ns: Velocidad de giro (rpm)

De esta forma se obtiene una generación equilibrada que permita la utilización de todas las fases en un mismo sistema eléctrico.

Para mantener constante la frecuencia del voltaje generado, tal como lo requieren la gran mayoría de los equipos que se usan en la actualidad, las

variables que se pueden manipular son el número de polos o la velocidad de rotación mecánica.

La máxima potencia que se puede aprovechar del viento se calcula con la siguiente ecuación (2) [10], conocida como límite de Betz:

$$P = 0.29dv^3 \quad (2)$$

P es la potencia expresada en vatios [W].

d es el diámetro del rotor en metros [m].

v es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s].

De modo que para estimar la potencia máxima de una eólica real se usó la siguiente ecuación (3) [10].

$$P = 0.15d v^3 \quad (3)$$

Esta ecuación nos dice que la potencia de este aerogenerador va a depender tanto del diámetro del rotor como también de la velocidad del viento.

4.1.1 VELOCIDAD DE GIRO DE UNA TURBINA EÓLICA.

La velocidad de giro de una turbina eólica se calcula con la siguiente ecuación (4) [10].

$$n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (p \cdot d) \quad (4)$$

Dónde:

n es el número de revoluciones por minuto [rpm].

λ es la velocidad específica del rotor eólico,

depende de la anchura y del ángulo de calado de las palas. Puede tener un valor nominal comprendido entre 0.8 y 14 aproximadamente.

v es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s].

d es el diámetro de la eólica en metros [m].

La velocidad específica λ se define con la siguiente ecuación (5) [10].

$$\lambda = u_0 / v \quad (5)$$

Donde u_0 es la velocidad (tangencial) de las palas del rotor y v es la velocidad del viento, ambas expresadas en [m/s].

4.1.2 REGLAS GENERALES

4.1.2 REGLAS GENERALES

Hay dos reglas generales en la construcción de una turbina eólica las cuales son las siguientes: [10]

- A más diámetro, menor velocidad de giro.
- Un mayor número de aspas o palas no aumenta la velocidad de giro, pero aumenta el rendimiento del rotor eólico.

4.1.3 CÁLCULOS DEL GENERADOR

Se calcula el voltaje del neutro con las siguientes ecuaciones: (6) a la (11) [10].

$$E_{ind} = \phi_{m\acute{a}x} \omega \sin \omega t \quad (6)$$

E_{ind} es voltaje inducido.

$$T_{ind} = 2rI B \sin \theta \quad (7)$$

$$T_{ind} = \frac{AG}{\mu} B \sin \theta \quad (8)$$

$$T_{ind} = k B \sin \theta \quad (9)$$

$$E_n = \frac{EL}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

$$V_n = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2.88v$$

Se calcula el voltaje de línea con la siguiente ecuación.

$$EL = \sqrt{3} E_n \quad (11)$$

$$EL = \sqrt{3} (2.88) = 5v$$

Y con estas ecuaciones, son la base que sustenta el diseño del generador.

Para calcular la amplitud de la señal generada por el generador AC empleamos la ecuación (11) [11] y como resultado tenemos la generación de salida de 12 volts.

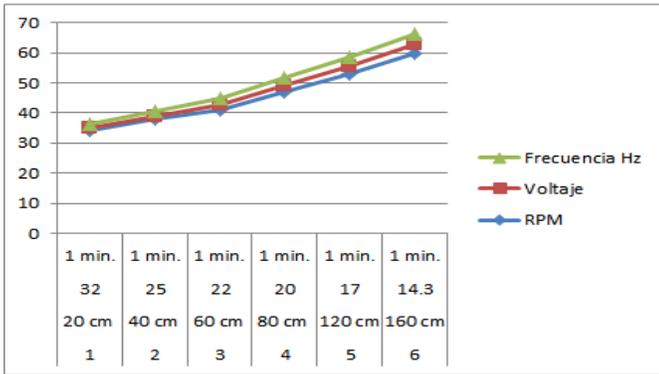
5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez construido el generador como se muestra en la figura 4 Se realizaron una serie de pruebas, dos tipos: en laboratorio y en campo abierto.

En el laboratorio se utilizó un ventilador casero convencional y se colocó frente al dispositivo generador a diferentes distancias para producir velocidades específicas del viento. En campo abierto se hicieron mediciones con diferentes velocidades del viento.

Prueba	Distancia	Velocidad Km/s	RPM	Voltaje	Hz
1	20 cm	32	34	0.97	1.2
2	40 cm	25	38	1	1.7
3	60 cm	22	41	1.6	2.1
4	80 cm	20	47	2.3	2.6
5	120 cm	17	53	2.7	3
6	160 cm	14.3	60	3	3.1

Tabla 1. Pruebas en laboratorio

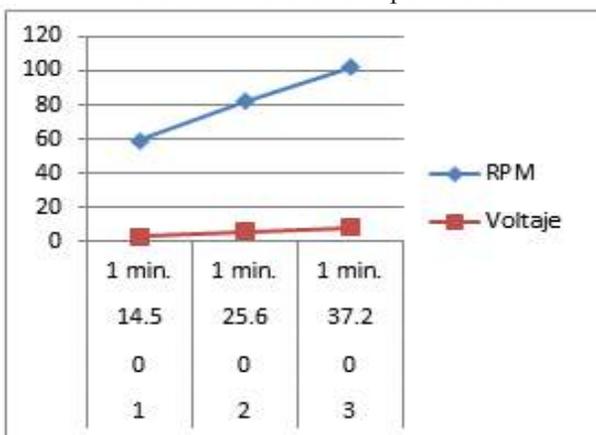


Grafica 1. Pruebas en laboratorio

Como puede observarse las máximas RPM se obtienen con una velocidad del viento de 14.3 Km/s que no es la mayor y sí con el mayor alejamiento del ventilador. Así mismo se observa que es en esas condiciones donde se produce el mayor voltaje.

Prueba	Velocidad Km/h	RPM	Voltaje V	Frecuencia Hz
1	14.5	59	3	3.2
2	25.6	82	6	6.2
3	37.2	102	8.3	8

Tabla 2. Pruebas en campo abierto



Grafica 2. Pruebas en campo abierto.

Las pruebas en campo abierto demuestran que el funcionamiento del dispositivo arroja un voltaje máximo de 8 volts, sin embargo dado que la energía producida se va a almacenar en baterías, este resultado es bastante aceptable, ya que es suficiente para cargar el banco de baterías propuesto. El funcionamiento del dispositivo no sólo se basa en el uso de la energía eólica sino también, en la aerodinámica y en su versatilidad, pudiendo ser utilizado en la industria no solo en un condensador sino en alguna zona donde se tengan corrientes de aire con la suficiente velocidad para generar electricidad a través del dispositivo.

Con la implementación del dispositivo en el condensador evaporativo industrial, se aprovechará la energía eólica y se obtendrá un ahorro económico y una disminución en el impacto ambiental.

El desarrollo de una fuente de energía limpia y renovable, como la eólica, no ha llegado a aprovecharse completamente, habiendo una larga tarea por recorrer en los caminos de la sustitución de energías no renovables y contaminantes perjudiciales para el medio ambiente.

Se debe continuar innovando las energías alternativas para beneficio de la humanidad, de las generaciones futuras y por ende disminuir la contaminación de nuestro planeta.



Figura 4. *Generador Eólico propuesto*

6 Referencias

- [1] Instituto de Investigaciones Eléctricas, Programa Universitario de Energía UNAM. 1998.
- [2] SENER. "Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México" (2009). Disponible en: http://www.energia.gob.mx/webSener/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf.
- [3] Reyes, S. Introducción a la Meteorología. Mexicali, México. UABC 2001.
- [4] SENER "Balance Nacional de Energía" (2007). Disponible en: <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/index.jsp?id=48>
- [5] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. "Zonas Potencialmente 2003.
- [6] Productoras de Energía Eólica, en Baja California". Disponible en: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/energia/estudios.html>
- [7] Comisión Estatal de Energía. "Presentación de Política Energética, Energías 2009. Disponible en: http://www.bajacalifornia.gob.mx/energia/parque_eolico.html
- [8] Gobierno del Estado de Baja California "Proyecto Parque Eólico" 2009. Disponible en: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/energia>
- [9] Global Wind Energy Council. "Global wind energy outlook" 2008. Disponible en: <http://www.gwec.net/index.php?id=92>
- [10] World Wind Energy Association "Wind Energy Market worldwide continues strong growth" (2009). Disponible en: <http://www.wwindea.org/home/index.php>
- [11] Stephen J. Chapman. Máquinas Eléctricas cuarta edición 2005.
- [12] Fernández Díez Pedro "Energía eólica" 2000. Disponible en: <http://www.termica.webhop.info/>
- [13] Principio de operación de un condensador industrial. Disponible en: <http://www.cma.gva.es/areas/estado/agua/est/legionela/cs/graf2.htm>.
- [14] Torres de refrigeración y condensadores evaporativos industriales. Disponible en: http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4_leg.pdf
- [15] Condensador Evaporativo Industrial. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/frick-by-johnson-controls/condensadores-evaporativos-28054-157297.html>.
- [16] Sistemas de generación eléctrica para aerogeneradores. Disponible en: http://www.ute.com.uy/empresa/entorno/Energias_Renovables/eolica/Actividad_2002/Eolica_Generadores.pdf
- [17] Cadenas R. y Saldivar G. "Educación y Nuevas Tecnologías Central Eoloeléctrica La Venta II" (2007).