

SISTEMA INTEGRAL DE PRODUCCIÓN  
DE ENERGÍA RENOVABLE. CASO: VIVIENDA UNIFAMILIAR  
EN EL MUNICIPIO PEDRAZA, BARINAS.

COMPREHENSIVE SYSTEM OF RENEWABLE ENERGY PRODUCTION  
(CASE: DETACHED HOUSE IN THE MUNICIPALITY PEDRAZA, BARINAS)

JOSÉ RUIZ FUENMAYOR<sup>1</sup>

**RESUMEN**

Este artículo presenta las características y cálculos teóricos de un sistema híbrido eólico fotovoltaico de generación de energía eléctrica, en una vivienda unifamiliar tipo en el Municipio Pedraza del Estado Barinas Venezuela. La metodología utilizada fue la introducción de datos meteorológicos de la zona en un libro de cálculo HyCAD diseñado en Microsoft Excel, el cual está compuesto por 6 hojas vinculadas para los cálculos desde la demanda hasta la iteración de los dos sistemas (Eólico y fotovoltaico) en donde se verifica el aporte de cada sistema. Se analizó el aporte del viento a través de la distribución de probabilidad Weibull y la contribución solar a través de las horas solar pico; este procedimiento dio como resultado que el sistema eólico es muy poco factible para generación eléctrica estando por debajo hasta 3 veces de la solar en la zona, mientras que con sistema fotovoltaico presento resultados más favorables.

**Palabras clave:** Energía Solar, Radiación solar, Energía eólica, aerogenerador, sistema integrado.

**ABSTRACT**

This article presents the characteristics and theoretical calculations of a hybrid photovoltaic system wind power generation, in a detached kind in the Pedraza Municipality Venezuela Barinas state. The methodology used was the introduction of meteorological data in the area in a book by HYCAD calculation designed in Microsoft Excel, which is composed of 6 sheets related to calculations from demand to the iteration of the two systems (Wind and photovoltaic) in where the contribution of each system is verified. Wind input analyzed by the Weibull probability distribution and solar contribution through the peak sun hours; This procedure resulted in the wind system is very unlikely to generate electricity to be below 3 times of the plot in the area, while with PV system present more favorable results.

**Keywords:** Solar energy, solar radiation, wind energy, wind turbine, integrated system.

(\*) Recibido: 30/05/2015

Aceptado: 11/09/2015

(1) Universidad Politécnica Territorial del estado Barinas. Socopo, Barinas.

## INTRODUCCION

La demanda energética de la población mundial ha crecido de manera considerable a través del último siglo. Tan sólo en 2005 hubo una demanda energética de 15 TWh, los cuales el 86.5% provenía de combustibles fósiles (Catillo, 2013), esto trae consigo emisiones de CO<sub>2</sub> gas de efectos contaminantes considerables en nuestra atmosfera. La solución para la disminución de estos gases es sin duda el uso de energías renovables de las cuales en este artículo se hará énfasis en la energía solar fotovoltaica y la energía eólica con uso doméstico a baja escala.

Antes de ello es necesario conocer algunas características del sol del cual se conoce como una estrella que se encuentra a una distancia de 150.000.000 km de la tierra. De naturaleza gaseosa, tiene un diámetro aproximado de 1.400.000 km y una masa de  $1,99 \cdot 10^{30}$  y genera energía debido a las reacciones nucleares de fusión que tiene lugar en su núcleo, que está a una temperatura media de 15.000.000 °C (Rufes, 2010).

Parte de la energía irradiada por esta estrella llega a nuestro planeta unos  $1,74 \cdot 10^{14}$  kW, que es el equivalente a unas 5.000 veces el consumo energético de toda la población mundial (Rufes, 2010). Ahora un porcentaje muy menor de este total es aprovechable para captación en paneles fotovoltaicos unos 168 W/m<sup>2</sup> que llegan a la tierra.

La energía eólica procedente de la energía cinética que posee una masa de aire que se encuentra en movimiento, tiene una procedencia directa de la energía solar, entre el 1% y 2% de la energía solar que llega a la tierra se convierte en energía eólica, una característica fundamental de ese tipo de energía es su gran aleatoriedad, por lo que resulta complicado estimar la cantidad de energía eólica de la que vamos a disponer en un intervalo determinado de tiempo, además presenta una gran variación local, superior a la de la energía solar. Ahora dentro del grupo de energías renovables se puede decir que las de menos impacto ambiental, son sin duda la solar a través de sistemas fotovoltaicos y la eólica a través de aerogeneradores. Una combinación de estos sistemas para la producción de energía eléctrica es una opción de armonía con el ambiente.

En el Municipio Pedraza estado Barinas existen condiciones meteorológicas que podrían considerarse promedios aceptables para desarrollar proyectos de producción de energía mediante sistemas híbridos, combinando un sistemas fotovoltaico – eólicos.

La ubicación geográfica de la vivienda unifamiliar que se toma como tipo está ubicada a una Latitud de 08° 22' 36" y una Longitud de 70° 36' 09" según datos de la estación meteorológica Ciudad Bolivia del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), cuyo consumo promedio está en el orden de 4005 Wh/día, en la cual se realizaría los cálculos teóricos de un sistema que cubra la demanda promedio de la vivienda.

## FUNDAMENTOS TEORICOS

### SISTEMA

Es la combinación de partes o elementos reunidos para obtener un resultado o formar un conjunto (Figura 1), de tal forma que un cambio en las partes o elemento afecta al conjunto de todos ellos. Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema y sólo estos formarán el sistema que se ha de estudiar, (Ejemplo: sistema. planetario, sistema binario, sistema. informático, sistema energético, etcétera) (Pacco, 2008).

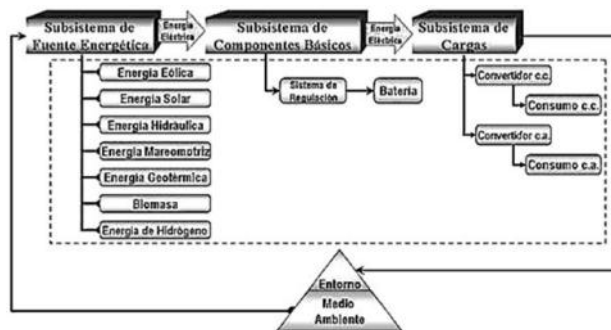


Figura 1. Aspecto físico del sistema energético.

### SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Estos sistemas se denominan “híbridos” porque pueden generar energía eléctrica a partir de dos o más fuentes de energía renovable simultáneamente; por ejemplo, fotovoltaica-eólica, fotovoltaica-

celdas de combustible, eólica térmica entre otras (Catillo, 2013).

Los sistemas híbridos se componen de varias partes fundamentales (Figura 2):

- \* Al menos 2 tipos distintos de energía renovable
- \* Fase de control de carga
- \* Banco de baterías
- \* Inversor Corriente Directa-Corriente Alterna (CD/CA).

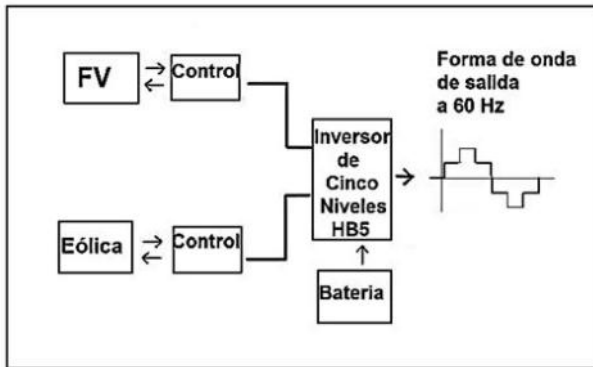


Figura 2. Partes de un sistema híbrido aislado.

### ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para Alves, Chacón y Toledo (2009), consiste en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante células fotovoltaicas. En la actualidad, la tecnología fotovoltaica se encuentra en pleno desarrollo: las células fotovoltaicas tienen eficiencias muy bajas (del orden del 15%) y costos de producción muy elevados, lo que hace necesario el apoyo institucional para asegurar la viabilidad económica de este tipo de sistemas.

Los componentes principales de los sistemas fotovoltaicos son los siguientes:

- La energía solar.
- Células y módulos fotovoltaicos, orientados de tal manera que reciban la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del año.
- Sistema de almacenamientos de energía (baterías), solo en los casos de sistemas aislados.

- Inversor para transformar de corriente directa a corriente alterna.
- Protecciones eléctricas.
- La red eléctrica, solo en los casos de sistemas conectados a la red.

Para dimensionar un sistema fotovoltaico se deben conjugar una serie de parámetros, como se indica en la Figura. 3.



Figura 3. Elementos que intervienen en el diseño de un sistema fotovoltaico.

### HORAS SOLAR PICO

Una hora solar pico es la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de 1 kW/m<sup>2</sup>. Estas son el producto del factor de corrección para superficies inclinadas y la energía incidente en el horizonte, medida en kWh/m<sup>2</sup> (Bruzual, 2010).

### ENERGÍA EOLICA

El viento se produce por el movimiento de las masas de aire en la troposfera, la capa más baja de la atmósfera. Dentro de ella, los vientos que tendrán interés desde el punto de vista energético son los que se producen al nivel de la superficie terrestre (Mur, 2010).

La energía eólica es una forma secundaria de energía solar. La existencia de temperaturas diferentes en la superficie de la tierra originan "el viento". Puesto que la masa de aire caliente, menos densa se elevan rápidamente, mientras que el aire más frío llena los espacios dejados por las masas de aire más livianas. Este movimiento del aire se combina con la rotación de la tierra, dando

lugar a la formación de una corriente de viento. El potencial eólico está determinado por tres factores:

#### LA VELOCIDAD DEL VIENTO

La generación de energía eólica disponible se incrementa exponencialmente, con el aumento de la velocidad del viento. La potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad.

#### LAS CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO

Las formaciones geográficas, las estructuras artificiales pueden diferenciar el recurso eólico utilizable.

#### LA DENSIDAD DEL AIRE

Las bajas temperaturas dan lugar a mayor densidad del aire, lo que significa mayor fluidez de las moléculas gaseosas sobre la pala de la turbina, lo que produce mayor rendimiento de potencia para una determinada velocidad.

El potencial eólico, es decir la energía cinética del viento en una unidad de tiempo, se incrementa con el cubo de la velocidad del viento. Por lo tanto de los tres parámetros antes citados, la velocidad del viento es el determinante.

Sin embargo con el principio de conservación de la energía, solo es posible extraer una parte de esta. El límite de Betz establece en 0,59 la porción máxima de energía que podemos extraer del viento utilizando aerogenerador.

## MATERIALES Y METODOS

### CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR

La vivienda tipo tiene un área de 452 m<sup>2</sup> incluyendo todas sus áreas externas e internas, en el Cuadro 1 se tiene las siguientes características meteorológicas promedio de la zona donde se encuentra dicha vivienda.

### METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y ANÁLISIS

Para el análisis de un sistema integral híbrido de producción de energía eléctrica en una vivienda unifamiliar tipo en esta zona se procedió con el uso de un libro de cálculo diseñada en Microsoft Excel bajo el modelo de Evaluación HyCad contentivo de las siguientes hojas de cálculo: Cargas, Viento,

Solar, WindCAD, WindCAD (2) y Generación híbrida Mensual las cuales se describen a continuación:

1. **Hoja Cargas:** Cálculo del requerimiento energético de la vivienda, introduciendo cada uno de los equipos con su potencia nominal, del cual arroja la demanda mensual promedio de la vivienda.
2. **Hoja Viento:** donde se registran los promedios de velocidad del viento en los diferentes meses del año atendiendo a los datos meteorológicos buscados en la página web NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data. Allí se genera el promedio anual y el gráfico correspondiente.
3. **Hoja Solar:** donde se registran los promedios de radiación solar en los diferentes meses del año atendiendo a los datos meteorológicos buscados en la página web NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data. Allí se genera el promedio anual y el gráfico correspondiente.
4. **Hoja WindCAD:** Hoja de cálculo del Modelo de Evaluación de Aerogenerador de 1 kW BWC XL.1 Versión para Carga de Baterías de energía diaria generada, el cual solicita entrada como: media del viento, Weibull K (se hará men-

**Cuadro 1. Características meteorológicas de Ciudad Bolivia.**

Ubicación Geográfica:	Latitud: 08° 22' 360"
	Longitud: 70° 36' 090"
	Altitud: 208 msnm
Precipitación media mensual:	187,43 mm
Temperatura media mensual:	26,36 °C
Temperatura máxima media mensual:	31,6 °C
Temperatura mínima media mensual:	21,43 °C
Humedad relativa 8:00 am:	87,1%
Humedad relativa 2:00 pm:	66,3%
Horas de insolación promedio mensual:	173,4 Promedio diario 5,8 horas

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas

ción posterior), altitud del lugar, altura de la torre, factor turbulencia y margen de seguridad.

5. Para el caso de cálculo de la Weibull se describe lo siguiente:

- La probabilidad de la velocidad de viento se calcula como una función de Weibull definida por la media y un factor de forma, K.
- Para facilitar la integración por trozos, se divide el rango de velocidades de viento en "bines" de 1 m/s de ancho (Columna 1).
- Para cada bin, se multiplica la potencia eólica instantánea (W, Columna 2) por la probabilidad de esa velocidad de viento de la Weibull (f, Columna 3).
- Este producto (Neto  $W@V$ , Columna 4) es la contribución de la generación eólica para ese bin. El sumatorio de todas estas contribuciones es la generación media de energía del aerogenerador a lo largo de 24 horas.
- Se consiguen mejores resultados con medias anuales o mensuales. No se recomienda el uso de medias horarias o diarias (que en este caso se trabaja con medias mensuales).

6. **Hoja WindCAD(2):** Hoja de cálculo del Modelo de Evaluación de Aerogenerador de 1 kW BWC XL.1 Versión para Carga de Baterías de energía diaria generada, en el cual se dan resultados de probabilidad de viento por bin de velocidad por mes y energía diaria generada por mes.

7. **Hoja Generación Híbrida diaria:** En esta hoja se resumen la energía diaria por mes y las horas solar pico mensual realizando una iteración con el tamaño de generación eólica y fotovoltaica se resumen el consumo cubierto en %, además arroja la gráfica de consumo cubierto por mes.

8. **Eficiencia del sistema:** Los parámetros de eficiencia del sistema se describen en el Cuadro 2 a continuación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

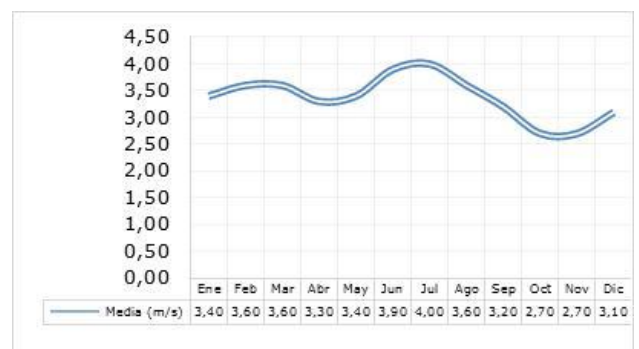
La vivienda obtuvo una demanda energética de 23,1 kWh (AC diaria) esta se transforma en un equivalente de 32,14 kWh (DC diaria) al tomar en cuenta las BOS (Cuadro 2).

Para el caso de los recursos eólico se describe en el gráfico de la figuras N° 2, en la cual se pudo verificar la media del mismo, dando como resultado un máximo mensual promedio de 4 m/s y un mínimo mensual promedio de 2,7 m/s para la velocidad del viento.

**Cuadro 2. Eficiencias BOS (Balance del Sistema).**

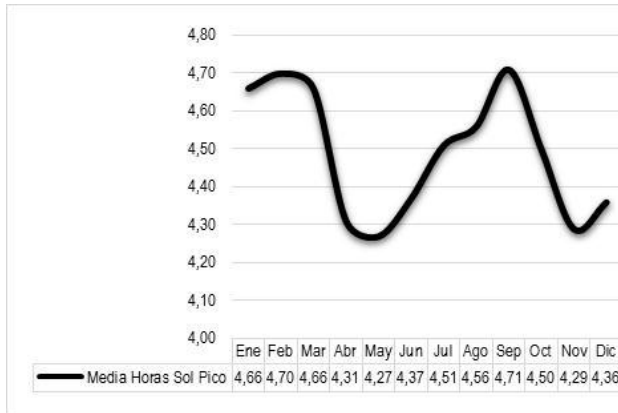
Batería:	0,85
Inversor:	0,9
Cableado:	0,98
Otros:	1
Energía Disipada:	0,95
Margen de Seguridad :	0,95
<b>Total:</b>	<b>0,675</b>

Para el recurso solar se obtuvo un máximo de 4,71 y un mínimo de 4,27 de horas solar pico, con un promedio anual de 4,49 horas solar pico tal como se muestra en la Figura 4, 5 y 6.



Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data.

**Figura 4. Promedio mensual y anual del recurso Eólico.**



Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data.

Figura 5. Promedio mensual y anual del recurso Solar.

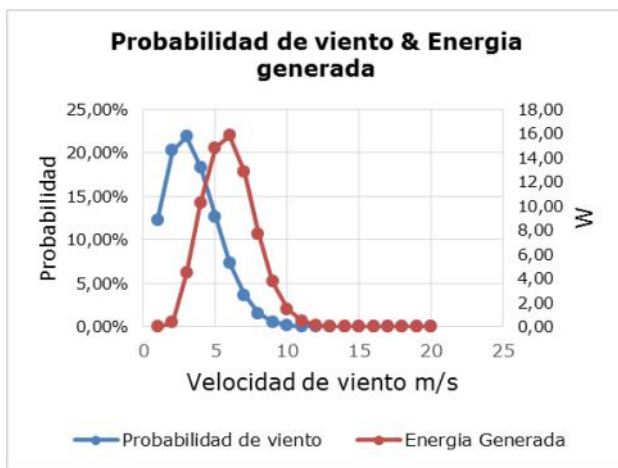


Figura 6. Cálculos de la Generación eólica con una Función de Distribución de Weibull.

En el caso de la probabilidad de viento el rango entre 11% y el 21% es donde se produce la mayor potencia ubicándose entre los 4 y 15 W respectivamente según la Figura 7.

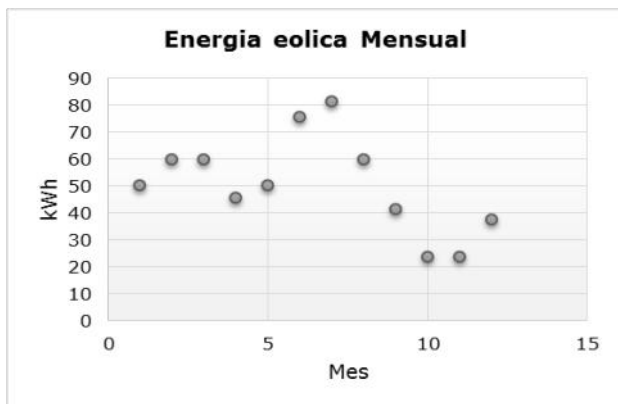


Figura 7. Energía eólica mensual posible en la vivienda unifamiliar.

Ahora la generación híbrida se analizó un caso con generación de 1 kW de cada sistema en la Figura 8, se verifica un máximo de cubrimiento de la demanda de 21% para el mes 7, y un mínimo de 15% en los meses 10 y 11 para un promedio de cubrimiento anual de 18%. Se observa que la generación eólica es en promedio 3 veces menor que la aportada por la solar.

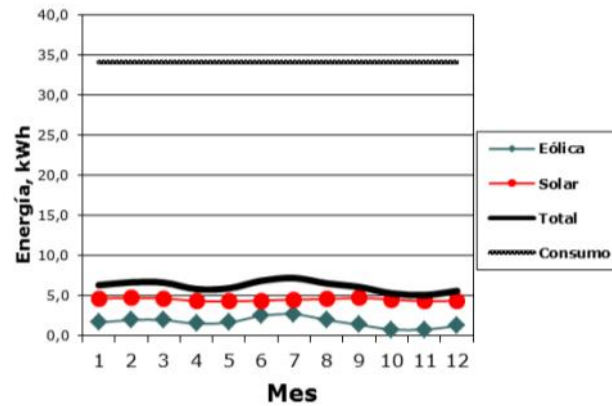


Figura 8. Consumo Cubierto, por Meses con tamaño de generación de 1 kW por sistema.

Realizando una iteración en la búsqueda de mejor cubrimiento de la demanda sin sobrepasar el 100%, se encontró que el sistema eólico a instalar es de 4kW y el solar de 5kW, lo que genera un máximo de cubrimiento mensual del 97% y un mínimo de 72% en el año.

Pero se observa que la energía eólica es de igual forma 3 veces menor en generación (6,7 kWh anual), que la solar (22,5 kWh anual) (Figura 9), esto confirma que el promedio entre 3 y 4 m/s en la velocidad del viento se considera buena opción para equipos de bombeo de agua y poco viable para la generación eléctrica (Pinilla, 2007).

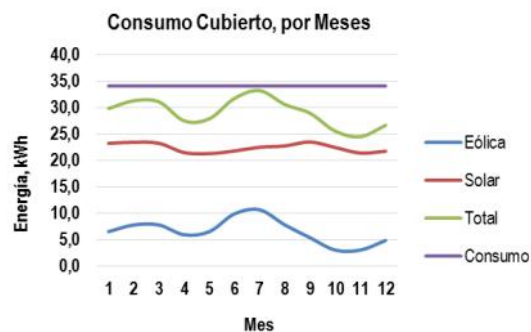


Figura 9. Consumo cubierto/mes, tamaño de generación 4 kW eólico & 5kW solar

## CONCLUSIONES

Con el uso del libro de cálculo Hycad se obtuvo de manera simplificada la caracterización de consumo energética de una vivienda unifamiliar tipo, determinándose que esta consume en promedio 23,1 kWh, que para efectos de generación híbrida se transforma en 34,14 kWh tomando en cuenta la eficiencia del sistema.

Se pudo evidenciar a través de la probabilidad de viento determinado por la función de probabilidad Weibull, que este sistema generaría un promedio anual 1,7 kWh lo que representa solo un 5% aproximadamente del consumo total además de ser solo la tercera parte de la generación solar fotovoltaica. Esto se resume a que la generación eólica en el lugar no es factible en términos de producción.

Por otro lado la generación fotovoltaica es más productiva en términos energético ya que las horas solar pico de la zona son más favorables en promedio anual 4,49; lo que demostró al realizar iteraciones de tamaños de generación por cada sistema que el fotovoltaico realizaba mayores aportes cerca del consumo de la vivienda mientras que el sistema eólico se quedaba muy por debajo (3 veces menor).

Una propuesta teórica de generación eléctrica a través de estos sistemas es un sistema de generación eólica de tamaño 1 kW y otro fotovoltaica de tamaño 6 kW lo que cubriría un 84% aproximadamente del consumo total de la vivienda.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Catillo, M. Martínez, R. y Delgado, F. (2013) "Sistema híbrido fotovoltaico-eólico para la generación de energía eléctrica". TLATEMOANI Revista Académica de Investigación., N° 13. Consultado el 10 de enero de 2015. Disponible en:
- Rufes, P. (2010) Energía Solar Térmica. 1ra ed. Barcelona España: marcombo, , p 25-233. ISBN 978-84-267-1558-6.

Pacco Ramírez, K. L.; (2008) "Evaluación Energética Comparativa de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia para la electrificación de una vivienda urbana". Tesis de pregrado; Tacna-Perú;.

Alves, R. Chacón, F. y Toledo H. (2009) "Estudio técnico-económico de factibilidad de generación fotovoltaica en Venezuela". En: II Congreso venezolano de redes y energía eléctrica. Caracas, Venezuela.. p. 1-8.

Bruzual Rodríguez, S. (2010) "Estudio de factibilidad técnico – económica para la implementación de energía eólica y solar, en el edificio técnico - administrativo "Leona", PDVSA Petroritupano, Municipio Freites – Anzoátegui". Tesis de pregrado, Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela..

Mur, J. (2010) Curso de Energía Eólica. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza, España. Extraído el 19 de Marzo de 2010 desde: <http://www.joaquimur.eu/manualEolico.pdf>

Pinilla, A. (1997). Manual de aplicación de la Energía Eólica. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas INEA, Universidad de los Andes. Extraído el 09 de Marzo de 2015 desde: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/.../energias.../manualEolicaweb.pdf>