**Reporte de Investigación**
**2007-08**

# Ponderación Variables Climáticas en Maracay para Uso Eólico

Responsables: Álvaro Rodríguez

Supervisor: Francisco M. González-Longatt

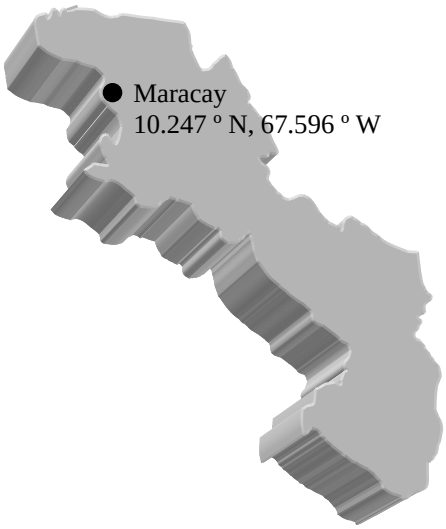
Línea de Investigación:
Fuentes Alternas de Energía
y
Generación Distribuida

Iniciativa para la Investigacion y Desarrollo de la Energía Eolica

20-Febrero-2007

# Generalidades

El presente reporte de investigación persigue efectuar una ponderación preliminar del recurso eólico disponible en la ciudad de Maracay, Estado Aragua, Venezuela. Esta ciudad se encuentra ubicada geográficamente en la parte norte de Venezuela, específicamente en 10.247º latitud norte y a 67.596º longitud oeste.




Debido a que a la presente fecha el grupo de investigación no dispone de mediciones reales en terreno, se ha decidido emplear los datos climatológicos proporcionados por el *Nacional Aeronautic and Space Administration* (NASA), en su base de datos de *Surface Meteorology and Solar Energy* (SSE), el cual es de domino publico por acceso a Internet [1].

## *Consideraciones de Surface Meteorology and Solar Energy (SSE)*

Los datos proporcionados por la SSE, conforma una climatología continua y coherente durante 10 años (1983-1993), donde datos de insolación y meteorología en un sistema de cuadrícula de 1º x 1º, se encuentran registrados en cualquier región de la tierra. Aunque los datos de SSE dentro de una celda en particular de cuadricula, no sean representante de un microclima en particular, ni de un punto ubicado dentro de esa celda, los datos están considerados para ser el promedio sobre el área entera de una celda en particular.

Los datos proporcionados por la SSE no intentan remplazar los datos obtenidos por las estaciones climáticas (los cuales al momento de elaborar este documento no se disponen), el propósito es llenar el espacio en donde las medidas reales se pierden, y registrar datos climatológicos en áreas en donde las mediciones no se han podido llevar a cabo, por lo que utilizando el conjunto de datos de SSE, una estimación del recurso potencial energético renovable se puede determinar en cualquier punto del globo.

La SSE proporciona año tras año la variabilidad en términos de máximos y mínimos en diez años para varios parámetros. En algunas situaciones los datos pueden ser valores medios más valiosos que precisos.

Las ecuaciones y principios mediante el cual se obtuvieron los datos climatológicos que presenta SSE, proporcionan una ayuda adicional para comprender las limitaciones de dichos datos, y así mejorar el uso de estos entre la comunidad estudiantil y la que realiza proyectos.

En general, los datos meteorológicos y de insolación, fueron obtenidos del satélite y de un programa de re-análisis de datos, perteneciente al centro geológico de la NASA, los cuales se encuentran avalados en base a las recomendaciones hechas por especialistas de la industria de energías renovables.

# Temperatura

La temperatura es un factor climático importante que se debe tener en cuenta a la hora de un estudio de recurso eólico, ya que al igual que la presión modifican el contenido energético del aire. Es por ello que a continuación se presenta los resultados obtenidos en la ciudad de Maracay (Latitud 10.247º N, Longitud 67.596º W)

TABLA 1. TEMPERATURA AMBIENTAL (ºC) MENSUAL A 10M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE. MARACAY -VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Temperatura* | 24.5 | 25.6 | 26.3 | 26.7 | 26.3 | 25.5 | 24.8 | 25.1 | 25.2 | 25.3 | 24.9 | 24.2 |

Para la ciudad de Maracay, los datos aportados por el SSE, indican que la temperatura promedio de los doce meses se ubica 25.4ºC, donde cinco meses: Febrero-Junio, se ubican por encima del promedio. Por otra parte, el mínimo promedio se registra en el mes de diciembre (24.2°C). Sin embrago es importante mencionar que la diferencie entre el máximo y el mínimo promedio mensual solo es de 2.5°C, de modo que la temperatura a lo largo de todo el ano registra una variación considerada como moderada.

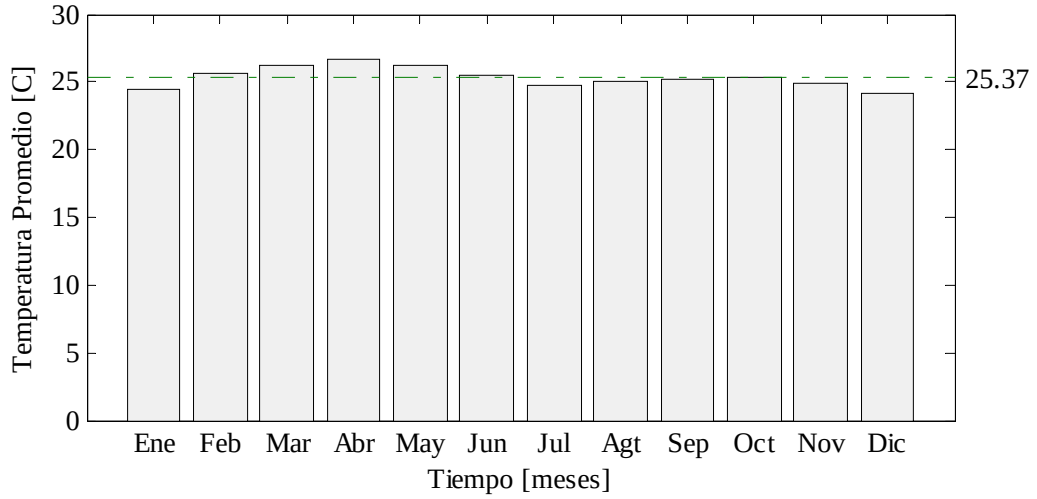



**Figura 1. Temperatura ambiental (ºC) mensual a 10m de la superficie terrestre. Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

TABLA 2. PROMEDIO MENSUAL DE MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL (ºC) A 10M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE. MARACAY -VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Máximo* | 24.2 | 25.7 | 26.4 | 26.0 | 25.4 | 24.9 | 24.3 | 24.4 | 24.1 | 24.2 | 23.7 | 23.3 |
| *Mínimo* | 27.2 | 28.9 | 30.3 | 30.0 | 28.3 | 26.9 | 25.9 | 26.0 | 25.9 | 26.0 | 25.6 | 25.6 |

Un simple, inspección del comportamiento de los promedios máximos y mínimos mensuales de la temperatura en Maracay, muestra que la máximos promedios se registran en los meses de enero a junio, siendo el marzo el mes con mayor registro 30°C. Por su parte las mínimas temperaturas se registran en los meses de Julio a Diciembre, siendo el mínimo registro de 25.6°C en este último.

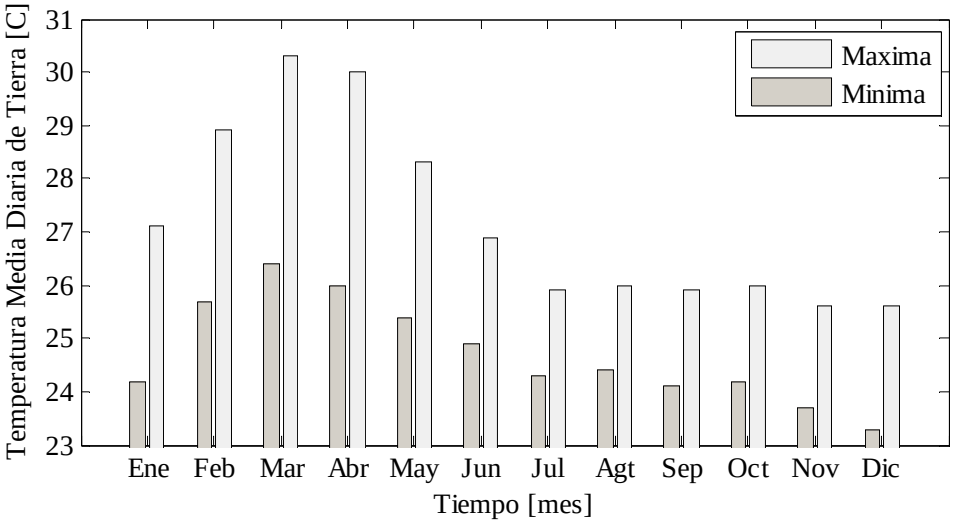



**Figura 2. Promedio Mensual de Mínimos Y Máximos De La Temperatura Ambiental (ºC) A 10m De La Superficie Terrestre. Maracay -Venezuela (Latitud 10.5 Longitud -67.5)**

Especial mención merece el hecho que el mes con un mayor diferencial de temperatura (máximo-mínimo) es abril (4°C), mientras que los meses de Julio-Agosto registran la menor diferencia entre la temperatura máxima y mínima (1.6°C)

# Presión Atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el peso del aire sobre cada unidad de superficie terrestre. La presión atmosférica ejerce sobre cada cuerpo, sobre cada objeto, sobre cada superficie, una presión que depende del peso del aire que hay encima. Esta columna no es igual de larga si el cuerpo se encuentra a nivel del mar, o en la cima de una montaña. Cuan más alto este un cuerpo, menor será la columna de aire encima de este y por consiguiente mayor será la presión atmosférica, y viceversa.

Los datos obtenidos para la Maracay, Venezuela recogidos por la SSE son los siguientes:

TABLA 3. PROMEDIO MENSUAL DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA (KPA). MARACAY -VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Presión* | 98.8 | 98.7 | 98.7 | 98.6 | 98.7 | 98.8 | 98.8 | 98.8 | 98.7 | 98.6 | 98.6 | 98.7 |

En la Figura 3 se tiene los valores de la presión atmosférica donde se evidencia que los meses con mayor magnitud lo conforman Enero, Junio, Junio, Julio y Diciembre, los otros se mantienen cercanos al valor promedio anual, pero por debajo de este. Aunque los valores de la presión son relativamente constantes. Con un promedio de 98.71 kPa.

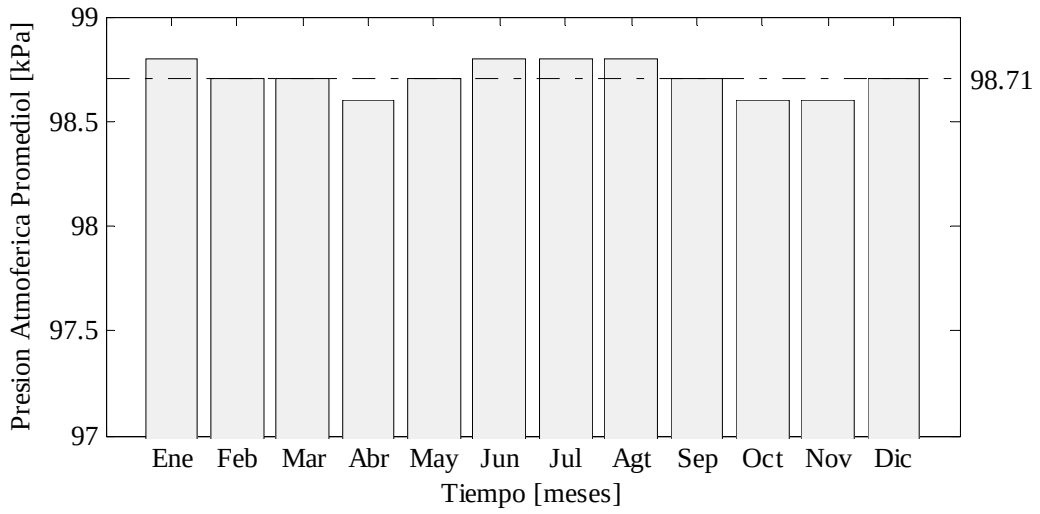



**Figura 3. Promedio de la Presión Atmosférica (kPa). Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

## *Correlación Temperatura-Presión*

Obsérvese como en las Figuras 1 y 2, que cuando la temperatura es más elevada, la presión disminuye, por lo que se demuestra la relación inversa entre ambas variables, las cuales a su vez varían a la densidad de energía contenida y aprovechable en el aire.

# Calculo Teórico de la Densidad del Aire

La ecuación que permite el cálculo de la densidad del aire es:

$$\rho = \frac{P}{RT} \tag{1}$$

Donde es $\rho$ es la densidad del aire, $P$ es la presión y $T$ es la temperatura en grados Kelvin. La constante específica de los gases para el aire seco es:

$$R_{dryair} = 287.05 \frac{Joule}{kgK}$$

De tal modo:

- A presión y temperatura estándar (0°C y 101.325 kPa), el aire seco tiene una densidad de $\rho_{STP}$ = 1.293 g/L.
- A temperatura y presión atmosférica estándar (25°C y 100 kPa) el aire seco tiene una densidad $\rho_{STP}$ = 1.186 g/L.
- A temperatura y presión atmosférica estándar (70°F y 14.686 psia) el aire seco tiene una densidad $\rho_{STP}$ = 0.075 lbm/ft$^3$.

La magnitud de un grado Celsius (1 °C) es equivalente a la magnitud de un Kelvin (1 °K), puesto que esta unidad se define como igual a la primera. Sin embargo, las escalas son diferentes porque la escala Kelvin toma como valor 0 el cero absoluto. Dado que al cero absoluto corresponde un valor de -273.15 °C, la temperatura expresada en °C y K difiere en 273.15 unidades:

$$Temp(^\circ C) = Temp(^\circ K) - 273.15$$

La conversión de grados Celsius a grados Fahrenheit se obtiene multiplicando la temperatura en Celsius por 1.8 (9/5) y sumando 32:

$$Temp(^\circ F) = \frac{9}{5} Temp(^\circ C) + 32$$

Para convertir Fahrenheit a Celsius:

$$Temp(^{\circ}C) = \frac{Temp(^{\circ}F) - 32}{1.8}$$

Empleando los datos logrados de la temperatura promedio (Tabla 1) y la presión atmosférica (Tabla 3), se procedió a establecer el valor de la densidad del aire (g/L) para la ubicación de la ciudad de Maracay,

TABLA 4. PROMEDIO MENSUAL DE LA DENSIDAD DEL AIRE (G/L). MARACAY -VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Densidad del Aire* | 1.1564 | 1.1509 | 1.1482 | 1.1456 | 1.1482 | 1.1525 | 1.1552 | 1.1540 | 1.1525 | 1.1509 | 1.1525 | 1.1564 |

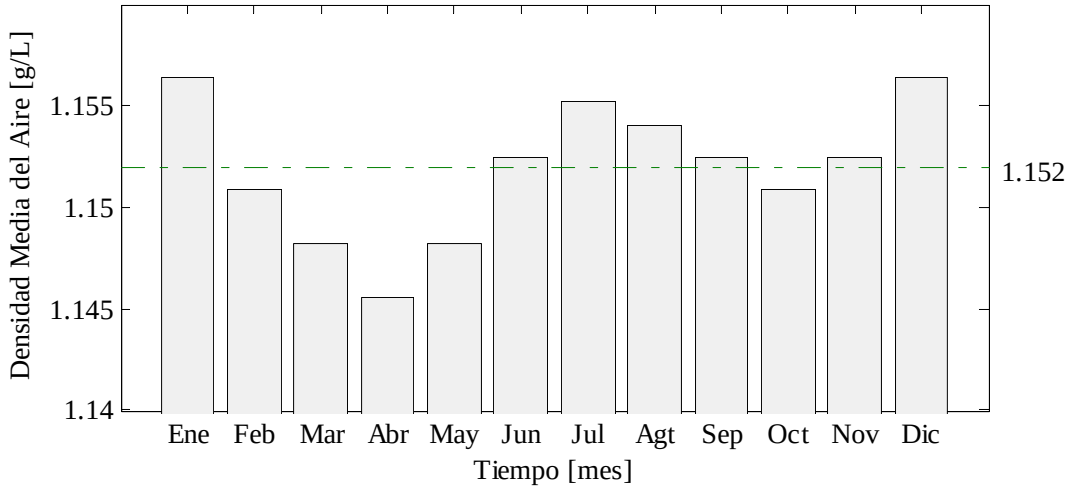



**Figura 4. Promedio de la Densidad del Aire (g/L). Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

Se puede observar que el mes de abril es el que registra la menor densidad del aire (1.1456 g/L), mientras que los meses de diciembre enero poseen los mayores registros de densidad del aire (1.1564 g/L). Durante todo el año el promedio de la densidad del aire es 1.152 g/L, y resultando que durante siete meses la densidad del aire se ubica por sobre el promedio.

# Viento

Para la evaluación de la energía contenida en el viento es necesario ponderar dos variables: magnitud y dirección del viento.

## *Velocidad del Viento*

Para ponderar la velocidad del ciento, se toma el promedio mensual de la velocidad del viento para un mes dado, promediado ese mes por un periodo de 10 anos (Julio 1983-Junio 1993). Los valores de localidad del viento son inicialmente ponderados para el caso de una altura de 50m sobre la superficie del terreno. Cada valor promediado mensual es evaluado como el promedio numérico de valore de cada 3 horas para un mes dado.

TABLA 5. PROMEDIO MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) A 50M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Velocidad del Viento* | 5.90 | 6.03 | 5.96 | 5.20 | 4.63 | 5.05 | 4.75 | 4.20 | 3.57 | 3.44 | 3.85 | 5.15 |

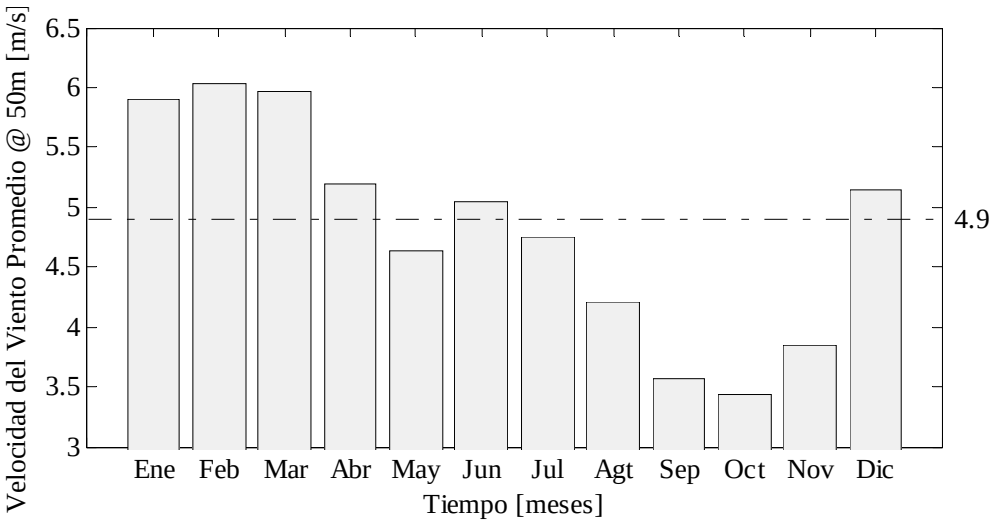



**Figura 5. Promedio de la Velocidad del Viento (m/s). Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

Para la ubicación de la ciudad de Maracay, la velocidad promedio anual se ubica entre los 4,8 m/s. Seis meses (enero, febrero, marzo, abril, junio y diciembre) se ubican con velocidades de viento por encima del promedio. Los meses de mayor velocidad son van desde enero a Marzo, siendo Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre, los de menores velocidad de viento llegando a 3.44m/s. La diferencia entre los meses con mayor y menor velocidad de viento, se ubica en 2.59 m/s, lo que representa más de 59% del promedio de velocidades. Si bien es cierto que los tres primeros medes del ano promedian velocidades altas (>5.9 m/s) el periodo de agosto a noviembre las velocidades caen en forma apreciable (<4.75m/s).

Los valores máximo y mínimos en la velocidad del viento para un mes dados indica el porcentaje de diferente entre el ano que provee la menor y mayor velocidad de viento promediada a 50m y el promedio de 10 anos de velocidad a 50.

TABLA 6. DIFERENCIA MAXIMO Y MINIMO DE VELOCIDAD DEL VIENTO (%) A 50M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Máximo* | -13 | -21 | -12 | -8 | -16 | -13 | -7 | -15 | -15 | -15 | -18 | -8 |
| *Mínimo* | 10 | 13 | 11 | 15 | 15 | 22 | 6 | 8 | 13 | 11 | 11 | 8 |

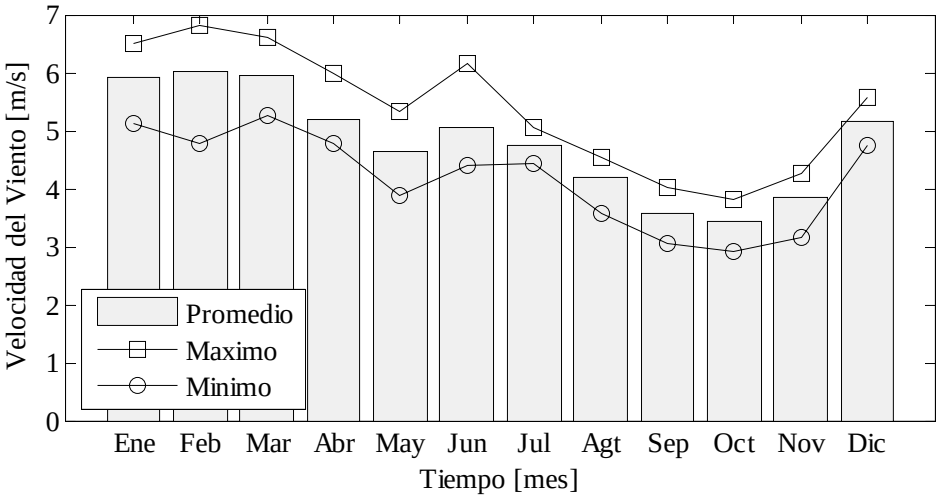



**Figura 6. Diferencia de Máximo y Mínimo (%) en la Velocidad del Viento a 50m. Maracay - Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

A continuación se presenta la cantidad de tiempo, en porcentaje, en que las distintas velocidades de viento se mantienen durante los meses, esto es de gran importancia porque permite conocer las horas útiles aprovechables del recurso eólico.

TABLA 7. PROMEDIO MENSUAL DEL PORCENTAJE DE TIEMPO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (%) A 50M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-2 | 1 | 2 | 2 | 6 | 11 | 6 | 9 | 19 | 31 | 33 | 26 | 6 |
| 3-6 | 73 | 74 | 73 | 75 | 75 | 76 | 74 | 71 | 63 | 62 | 65 | 76 |
| 7-10 | 24 | 20 | 21 | 16 | 14 | 17 | 17 | 11 | 6 | 5 | 9 | 18 |
| 11-14 | 2 | 4 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Se puede observar que estas estadísticas evidencian que en promedio de todo el año. Un 71% de las mediciones a lo largo del ano se trata de velocidades entre 3-6 m/s, registrándose 15% de velocidades entre 7-10 m/s, mientras que un 13% se ubica entre 0-2 m/s. Es importante mencionar que apenas el 1% de las mediciones registra velocidades superiores 11 m/s.

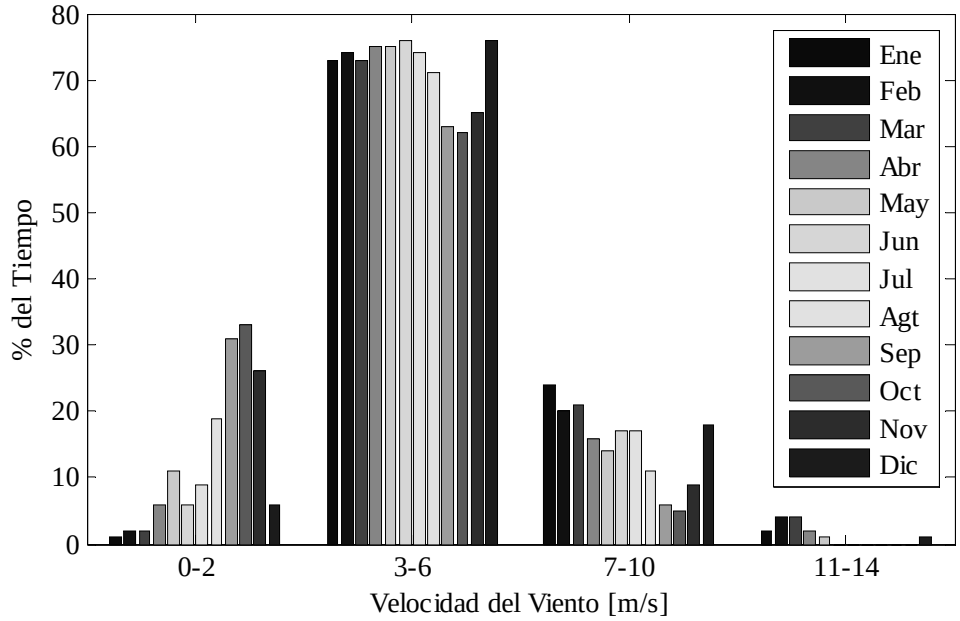



**Figura 7. Diferencia de Máximo y Mínimo (%) en la Velocidad del Viento a 50m. Maracay - Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

En la mayor parte del tiempo la velocidad se mantiene de entre (3-6)m/s, siendo esta una referencia importante a la hora del diseño del aerogenerador, y aún cuando las variaciones del viento son de muy poca duración.

TABLA 7. PROMEDIO MENSUAL VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) A 50M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE INDICADO EN TIEMPO GMT, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* | *Prom* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Promedio@2230 | 5.83 | 5.91 | 5.73 | 4.54 | 3.93 | 4.59 | 4.46 | 3.91 | 3.18 | 3.16 | 3.73 | 5.13 | 4.50 |
| Promedio@0130 | 6.81 | 6.78 | 6.73 | 6.00 | 5.40 | 5.93 | 5.85 | 5.26 | 4.41 | 4.21 | 4.78 | 6.19 | 5.69 |
| Promedio@0430 | 6.65 | 6.80 | 6.84 | 6.11 | 5.52 | 5.91 | 5.73 | 5.16 | 4.49 | 4.26 | 4.66 | 5.97 | 5.66 |
| Promedio@0730 | 6.43 | 6.54 | 6.60 | 5.91 | 5.34 | 5.69 | 5.40 | 4.83 | 4.25 | 4.09 | 4.44 | 5.79 | 5.43 |
| Promedio@1030 | 5.99 | 6.01 | 6.00 | 5.45 | 5.01 | 5.30 | 5.08 | 4.71 | 4.24 | 4.11 | 4.41 | 5.54 | 5.15 |
| Promedio@1330 | 5.35 | 5.80 | 5.82 | 5.08 | 4.33 | 4.55 | 3.93 | 3.37 | 2.85 | 2.71 | 3.02 | 4.20 | 4.24 |
| Promedio@1630 | 5.33 | 5.38 | 5.21 | 4.63 | 4.13 | 4.55 | 4.01 | 3.43 | 2.84 | 2.69 | 3.02 | 4.38 | 4.12 |
| Promedio@1930 | 4.79 | 4.99 | 4.80 | 3.92 | 3.37 | 3.99 | 3.55 | 2.94 | 2.33 | 2.29 | 2.71 | 3.95 | 3.62 |

La mayor velocidad de viento a 50m/s en todo el ano se registra @130 GMT, siendo el registro máximo absoluto en el mes de enero. Por su parte, los menores registro promedio de velocidad de viento a 50 m, se logra @1930 GMT, siento el mínimo alcanzado en el mes de Noviembre.

Alrededor de 18horas al día la velocidad se mantiene sobre los 4.12 m/s y por doce horas se mantiene sobre los 5.15 m/s, siendo durante la mañana y parte de la tarde en que ocurre este fenómeno natural, desde las 6am hasta las 3pm.

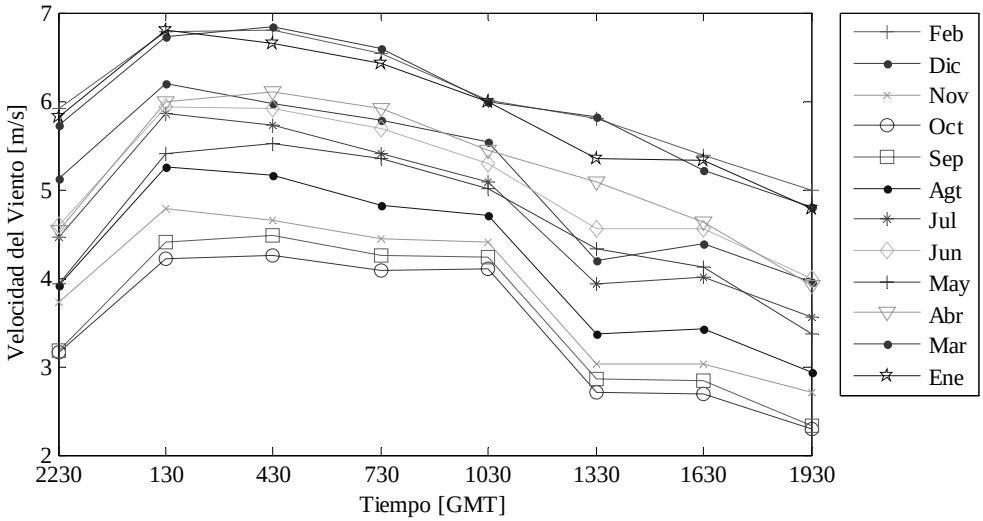



**Figura 8. Promedio mensual velocidad del viento (m/s) a 50m de la superficie terrestre indicado en tiempo GMT, localización Maracay-Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

Por otra parte, el registro de viento a 10m es de importancia. Aunque la velocidad llega a alcanzar valores relativamente altos en los mismos meses a los registros tomados 50m de la superficie, se observa que entre los mases de Diciembre a Abril los valores promedios de la velocidad del viento son mayores a al promedio. Por otra parte la velocidad del viento alcanza su valor mínimo de 2.72m/s en el mes de Octubre, pero no afectando de forma determinante el promedio anual, dejándolo para 3.802m/s.

Comparado con los valores de Presión Atmosférica y Temperatura es de esperar que el viento se comporte de esta manera, en vista que durante ese mes la temperatura desciende al igual que la presión aumenta, no siendo propicio para la ocurrencia de buenas velocidades en los Vientos.

TABLA 8. PROMEDIO MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (M/S) A 10M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Velocidad del Viento* | 4.66 | 4.76 | 4.71 | 4.11 | 3.66 | 4.00 | 3.75 | 3.32 | 2.82 | 2.72 | 3.04 | 4.07 |

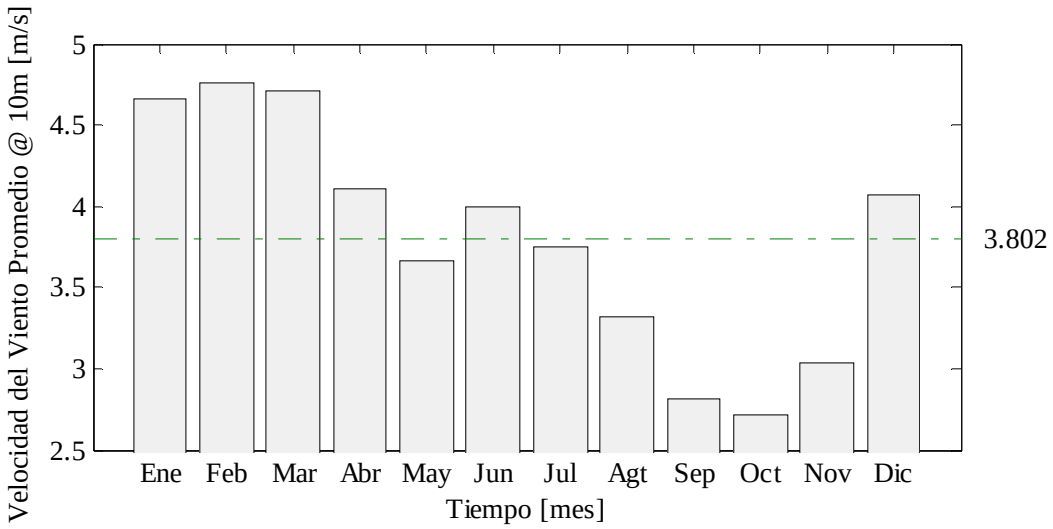



**Figura 9. Promedio de la Velocidad del Viento (m/s). Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

TABLA 9. DIFERENCIA (%) ENTRE LA VELOCIDAD DE PROMEDIO MENSUAL DEL VIENTO (M/S) A 10M POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE Y LA VALOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO A 50M POR ENCIMA DE LA SUPERFICEI DE LA TIERRA CONSIDERANDO VEGETACION DEL TIPO AEROPUESTO PLANO. MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Velocidad del Viento* | -20 | -21 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -20 | -21 | -21 | -21 |

## *Dirección del Viento*

Es de gran importancia, para el estudio del recurso eólico, conocer también la dirección en que proviene el viento, para ello se utiliza lo que se denomina la rosa de los vientos, el cual es un diagrama que especifica la dirección así como el contenido energético del aire.

TABLA 10. PROMEDIO MENSUAL DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO (GRADOS) A 50M DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Sep* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Direccion del Viento* | 70 | 70 | 68 | 70 | 73 | 75 | 76 | 78 | 80 | 81 | 81 | 80 |

Se observa que los vientos en la ciudad de Maracay, son predominantemente este, noreste. Siendo mayormente dominantes de enero a mayo en la dirección noreste, y en los restantes meses apunta más a la dirección este.

Un análisis más detallado puede ser efectuado, considerando la dirección del viento en función del tiempo como se muestra en la Tabla siguiente.

TABLA 11. PROMEDIO MENSUAL DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO A 50M SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE INDICADO EN TIEMPO GMT, LOCACION MARACAY-VENEZUELA (LATITUD 10.5 LONGITUD -67.5)

| *Mes* | *Ene* | *Feb* | *Mar* | *Abr* | *May* | *Jun* | *Jul* | *Ago* | *Set* | *Oct* | *Nov* | *Dic* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Promedio@2230 | 54 | 53 | 49 | 60 | 67 | 69 | 63 | 69 | 81 | 78 | 63 | 54 |
| Promedio@0130 | 46 | 42 | 36 | 44 | 57 | 65 | 64 | 70 | 82 | 79 | 66 | 52 |
| Promedio@0430 | 49 | 48 | 43 | 48 | 63 | 72 | 71 | 78 | 90 | 85 | 72 | 56 |
| Promedio@0730 | 57 | 59 | 53 | 60 | 76 | 82 | 81 | 91 | 104 | 97 | 84 | 62 |
| Promedio@1030 | 69 | 71 | 66 | 76 | 92 | 92 | 91 | 103 | 120 | 114 | 98 | 72 |
| Promedio@1330 | 88 | 89 | 88 | 102 | 110 | 104 | 102 | 112 | 130 | 126 | 111 | 88 |
| Promedio@1630 | 95 | 96 | 96 | 112 | 117 | 105 | 102 | 112 | 130 | 125 | 109 | 94 |
| Promedio@1930 | 76 | 75 | 72 | 89 | 94 | 85 | 79 | 87 | 101 | 92 | 77 | 71 |

## *Rosa de los Vientos*

Es de gran importancia, para el estudio del recurso eólico, conocer también la dirección en que proviene el viento, para ello se utiliza lo que se denomina la rosa de los vientos, el cual es un diagrama que especifica la dirección así como el contenido energético del aire.

Para la realización de la rosa de los vientos, fue necesario contar con los datos de direcciones de viento y las intensidades de ellos, aportados por SSE [1], además del programa disponible por la organización danesa de la energía eólica, en su sitio Web oficial, Wind Power [2].

Este programa consta de un módulo en el cual se realiza la selección de los sectores presentes de la rosa a trazar (8,12 o 16 sectores). Posteriormente se presenta el número de filas igual al número de sectores escogidos para el diagrama, donde la primera fila representa el norte de la rosa, y las siguientes las demás direcciones en sentido horario, (Norte, Este, Sur y Oeste).

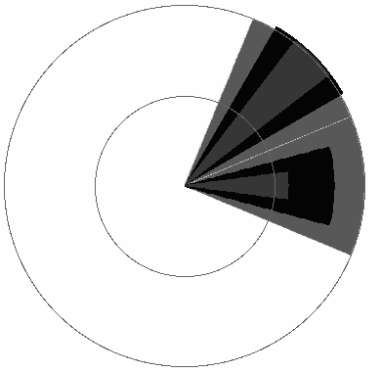


**Figura 10. Rosa de los Vientos. Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

Claramente se observa en la figura 4. , que la dirección del viento proviene principal mente en la dirección 66º con una desviación estándar de ± 30%. Esto es un dato de gran importancia debido a la naturaleza de cambio que presentan los vientos, conociendo lo anterior, a la hora del montaje de la estructura, se debe tener en cuenta que aún contando con un mecanismo de orientación en el aerogenerador, el anclaje principal es mucho más efectivo si la orientación toma en cuenta la dirección principal en que proviene el viento, solventando dificultades básicas que se pueden presentar y son propias de este tipo de equipo.

# Resumen del Estudio Climático

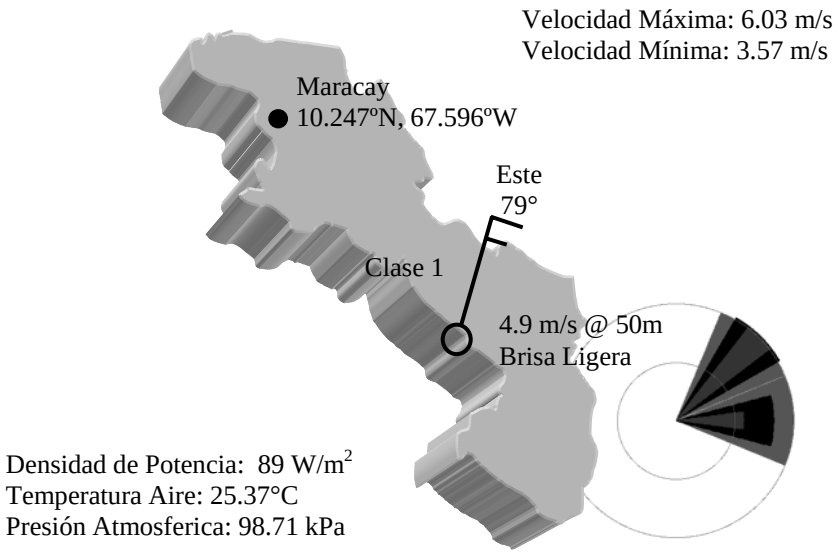



**Figura 11. Resumen de Variables Climáticas para Maracay -Venezuela (latitud 10.5 longitud -67.5)**

# Referencias Documentales

[1] *Surface meteorology and Solar Energy* (release 5.1). (On line) Available at: http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse
[2] *Danish Wind Power Association* (Online) Available at: http://www.windpower.org/en/core.htm

# Anexo

TABLA A. CLASES Y DENSIDADES DE POTENCIA A ALTURAS DE 10M Y 50 M

| *Clase* | *10 m (33 ft)* | | *50 m (164 ft)* | |
|---|---|---|---|---|
| | *Densidad de Potencia ($W/m^2$)* | *Velocidad m/s (mph)* | *Densidad de Potencia ($W/m^2$)* | *Velocidad m/s (mph)* |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 100 | 4.4 (9.8) | 200 | 5.6 (12.5) |
| 2 | 150 | 5.1 (11.5) | 300 | 6.4 (14.3) |
| 3 | 200 | 5.6 (12.5) | 400 | 7.0 (15.7) |
| 4 | 250 | 6.0 (13.4) | 500 | 7.5 (16.8) |
| 5 | 300 | 6.4 (14.3) | 600 | 8.0 (17.9) |
| 6 | 400 | 7.0 (15.7) | 800 | 8.8 (19.7) |
| 7 | 1000 | 9.4 (21.1) | 2000 | 11.9 (26.6) |

TABLA B. ESCALA DE VELOCIDADES DE VIENTO

| Velocidad del Viento a 10 m Altura | | Escala de Beaufort | Viento |
|---|---|---|---|
| m/s | nudos | | |
| 0.0-0.4 | 0.0-0.9 | 0 | Calma |
| 0.4-1.8 | 0.9-3.5 | 1 | |
| 1.8-3.6 | 3.5-7.0 | 2 | Ligero |
| 3.6-5.8 | 7-11 | 3 | |
| 5.8-8.5 | 11-17 | 4 | Moderado |
| 8.5-11 | 17-22 | 5 | Fresco |
| 11-14 | 22-28 | 6 | Fuerte |
| 14-17 | 28-34 | 7 | |
| 17-21 | 34-41 | 8 | Gale |
| 21-25 | 41-48 | 9 | |
| 25-29 | 48-56 | 10 | Strong Gale |
| 29-34 | 56-65 | 11 | |
| >34 | >65 | 12 | Huracan |

TABLA C. POTENCIAL DEL VIENTO

| *Clase de Potencia de Viento* | | *Características del Viento a 50m por encima del terreno* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *Potencia ($W/m^2$)* | *Velocidad (mph)* | *Posibilidad Comercial* |
| 1 | 1- | 0 - 100 | 0 - 9.8 | Muy Pobre |
| | 1+ | 100 - 200 | 9.8 - 12.5 | |
| 2 | 2- | 200 - 250 | 12.5 - 13.5 | Pobre |
| | 2+ | 250 - 300 | 13.5 - 14.3 | |
| 3 | 3- | 300 - 350 | 14.3 - 15.0 | Marginal |
| | 3+ | 350 - 400 | 15.0 - 15.7 | |
| 4 | 4- | 400 - 450 | 15.7 - 16.3 | Bueno |
| | 4+ | 450 - 500 | 16.3 - 16.8 | |
| 5 | 5- | 500 - 550 | 16.8 - 17.4 | Muy bueno |
| | 5+ | 550 - 600 | 17.4 - 17.9 | |
| 6 | 6- | 600 - 700 | 17.9 - 18.8 | Excelente |
| | 6+ | 700 - 800 | 18.8 - 19.7 | |