

# CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL VIENTO EN EL CERRO LA VIRGEN, ZACATECAS

Ricardo Saldaña<sup>1</sup>, Víctor Manuel García<sup>2</sup>, Ubaldo Miranda<sup>1</sup>, Sergio Durón<sup>2</sup>, María Flor Morales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gerencia de Energías No Convencionales. IIE, Morelos, México, E-mail: rsf@iie.org.mx. <sup>2</sup>Unidad Académica de Ciencia Químicas. UAZ, Zacatecas, México

## Resumen

En el presente trabajo se lleva a cabo la caracterización de manera preliminar del comportamiento y nivel de potencialidad energética del viento en el cerro La Virgen, Zacatecas, con miras a realizar estudios sobre su aprovechamiento para la producción de energía eléctrica a través de aerogeneradores.

Empleando información medida de la velocidad y dirección del viento a 20, 40 y 60 metros de altura, así como de temperatura ambiente y presión atmosférica a nivel de piso, cada 2 segundos y promediada en intervalos de 10 minutos, entre el 12 de septiembre de 2007 y el 11 de septiembre de 2009, se determinó la velocidad promedio del viento, desviación estándar, parámetros  $k$  y  $c$  de la f. d. p. de Weibull, velocidad máxima y densidad de potencia en un punto localizado en el cerro La Virgen, Zacatecas en las coordenadas geográficas 102° 32' 52" longitud Oeste, 22° 44' 07" latitud Norte y 2697 m.s.n.m. ( $x=751834.87$  metros,  $y=2516299.72$  metros; UTM zona 13 Norte).

Posteriormente se estimó la generación eoloeléctrica a través de un aerogenerador determinando su factor de planta.

Asimismo, se llevó a cabo la modelación de la velocidad y densidad de potencia del viento a 80 metros de altura en los alrededores del punto de medición, determinándose las zonas de mayor contenido energético.

A partir de la medición del viento durante dos años, se encontró una velocidad promedio entre 6.6 y 7.2 m/s a 20 y 60 metros de altura respectivamente, con valores de densidad de potencia entre 236.8 y 346.6 W/m<sup>2</sup>, siendo los vientos del SSW los de mayor aporte energético. En cuanto a la generación eoloeléctrica se estimaron factores de planta anuales superiores al 30%.

Dadas las características del viento en el lugar de estudio y su nivel de potencialidad energética, se deduce que es posible, desde el punto de vista de disponibilidad del recurso, implementar aerogeneradores para la generación eléctrica, requiriéndose realizar estudios posteriores que permitan determinar su factibilidad técnico-económica.

## Objetivo

Determinar las características y el nivel de potencialidad energética del viento en el Cerro La Virgen, Zacatecas, con base en mediciones anemométricas realizadas a 20, 40 y 60 metros de altura del 12 de septiembre de 2007 al 11 de septiembre de 2009.

## Metodología

A partir de mediciones anemométricas realizadas a 20, 40 y 60 metros de altura, cada dos segundos y promediadas cada 10 minutos, durante 24 meses (12 de septiembre de 2007 al 11 de septiembre de 2009), en un sitio localizado en el Cerro La Virgen, Zacatecas, cuyas coordenadas geográficas son 102° 32' 52" longitud Oeste, 22° 44' 07" latitud Norte y 2697 m.s.n.m. (x=751834.87 m, y=2516299.72 m; UTM zona 13 N), se llevó a cabo la estimación de la velocidad promedio del viento, desviación estándar, factores de forma y de escala, k y c de la f. d. p. de Weibull, velocidad máxima y densidad de potencia.

Asimismo se determinaron las curvas de distribución de velocidades a 20, 40 y 60 metros de altura.

Finalmente se extrapoló la velocidad a 80 metros de altura y se determinó la curva de distribución de frecuencias de velocidades y el potencial de generación eléctrica a través de un aerogenerador comercial estimándose el factor de planta para el período de mediciones.

La f. d. p. de Weibull está definida por:

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

v = velocidad del viento (m/s)

k = factor de forma

c = factor de escala (m/s)

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1.086}$$

$\bar{v}$  = velocidad promedio del viento (m/s)

$\sigma$  = desviación estándar de la velocidad (m/s)

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1 + 1/k\right)}$$

La densidad de potencia del viento ( $W/m^2$ ) está dada por:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 p(v) dv$$

$\rho$  = densidad del aire ( $kg/m^3$ )

La potencia generada está dada por:

$$\bar{P}_G = \int_{v_i}^{v_s} P(v) p(v) dv$$

$P(v)$  = Función de generación (kW)

$v_i$  = Velocidad de inicio de generación (m/s)

$v_s$  = Velocidad de salida de generación (m/s)

El factor de planta es:

$$f_p = \frac{\bar{P}_G}{P_{nom}}$$

$P_{nom}$  = Potencia nominal (máxima potencia) del aerogenerador (kW)

## Resultados

En la figura 1 se muestra la localización del sitio de medición.

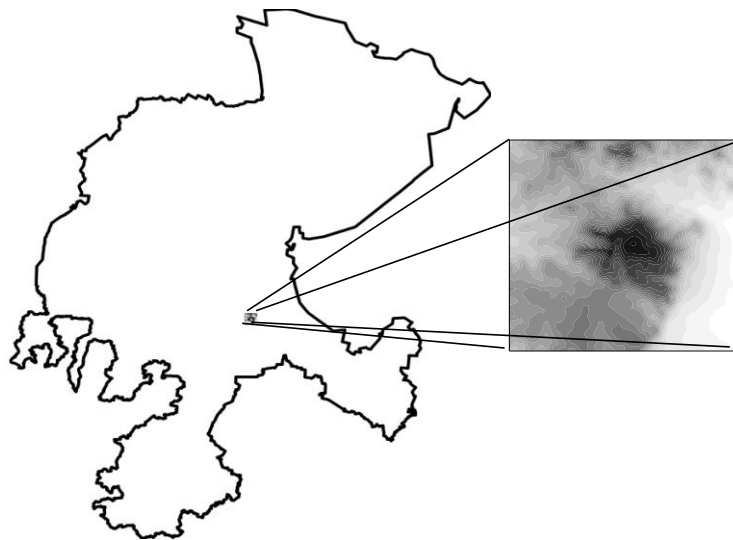


Figura 1. Localización del área de estudio en el estado de Zacatecas

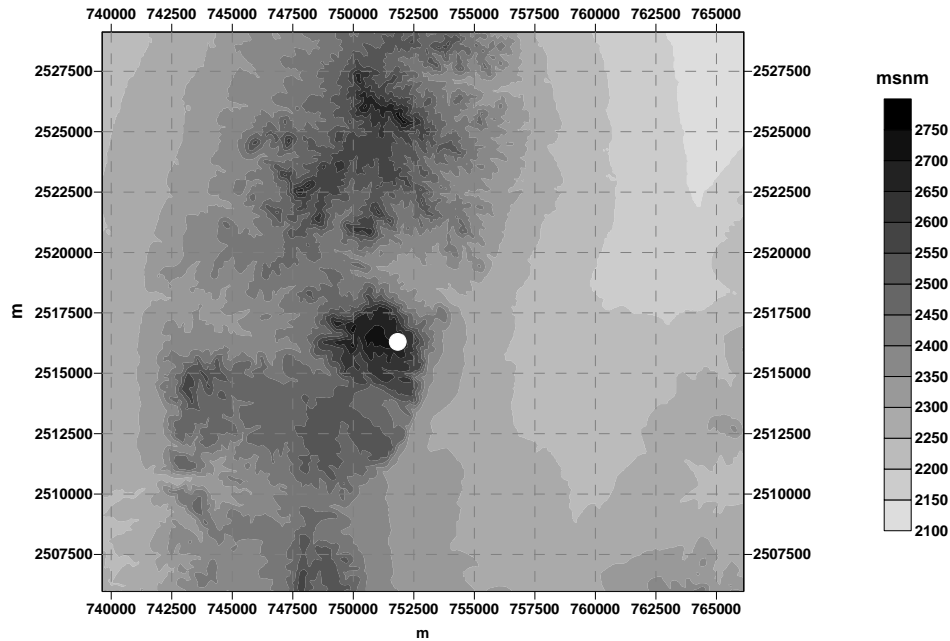


Figura 2. Ubicación de la estación anemométrica

La tabla 1 muestra los valores anuales de velocidad promedio, desviación estándar, factores  $k$  y  $c$  de la f. d. p. de Weibull, velocidad máxima y densidad de potencia obtenidos para el período de medición.

Tabla 1. Características generales del recurso eólico

Altura (m)	Velocidad Promedio (m/s)	Desviación Estándar (m/s)	$k$	$c$ (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)	Densidad de Potencia ( $W/m^2$ )
20	6.56	3.27	2.11	7.41	34.48	236.76
40	7.05	3.51	2.11	7.97	36.24	292.62
60	7.21	3.66	2.07	8.15	36.40	318.89
80	7.41	3.78	2.07	8.37	37.18	346.56

Nota: Los valores a 80 metros de altura se estimaron a partir de la ley de la potencia considerando los valores de velocidad a 20, 40 y 60 metros de altura.

Las figuras 2 a 5 muestran las curvas de distribución de velocidades a 20, 40, 60 y 80 metros de altura. La curva de distribución de velocidades a 80 metros de altura se elaboró empleando la ley de la potencia con exponentes  $\alpha$  obtenidos con las velocidades medidas a 20, 40 y 60 metros de altura.

Las cuatro curvas de distribución muestran su correspondiente distribución de Weibull que mejor la aproxima.

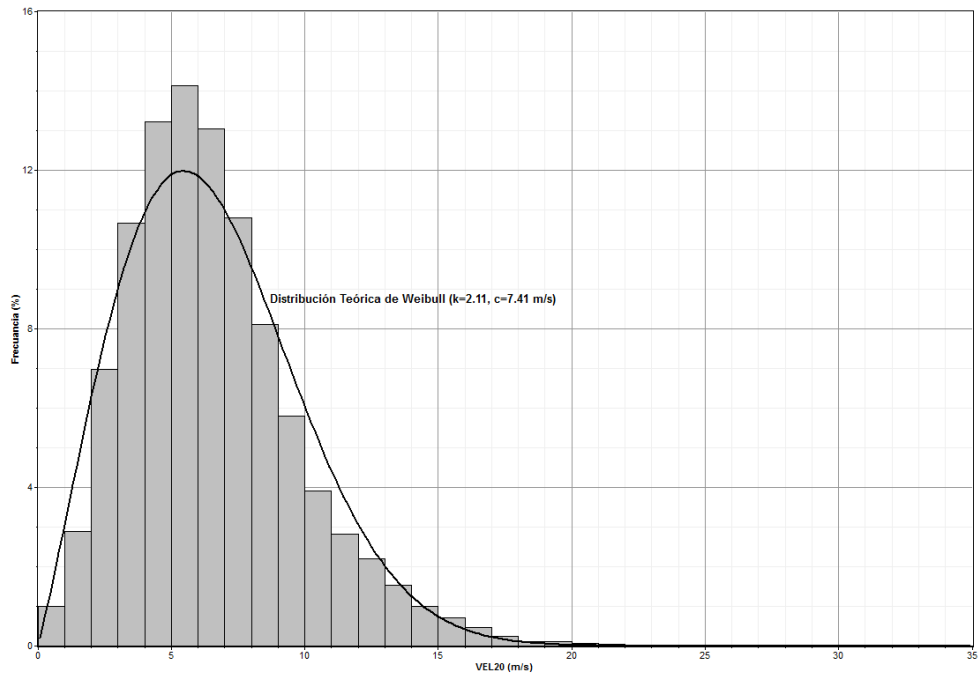


Figura 2. Curva de distribución de frecuencias de velocidades a 20 metros de altura

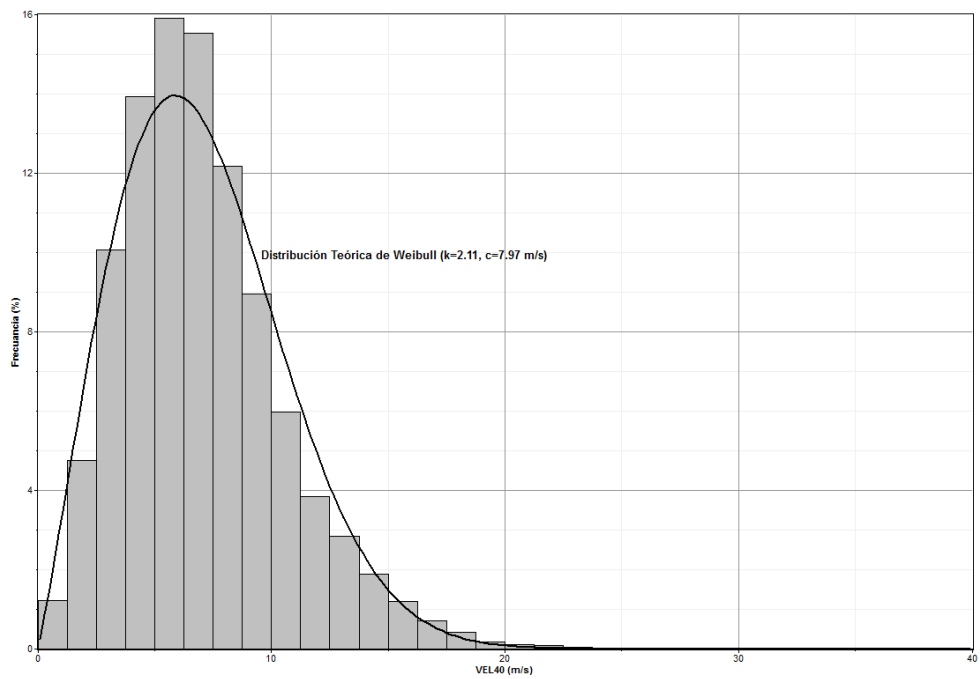


Figura 3. Curva de distribución de frecuencias de velocidades a 40 metros de altura

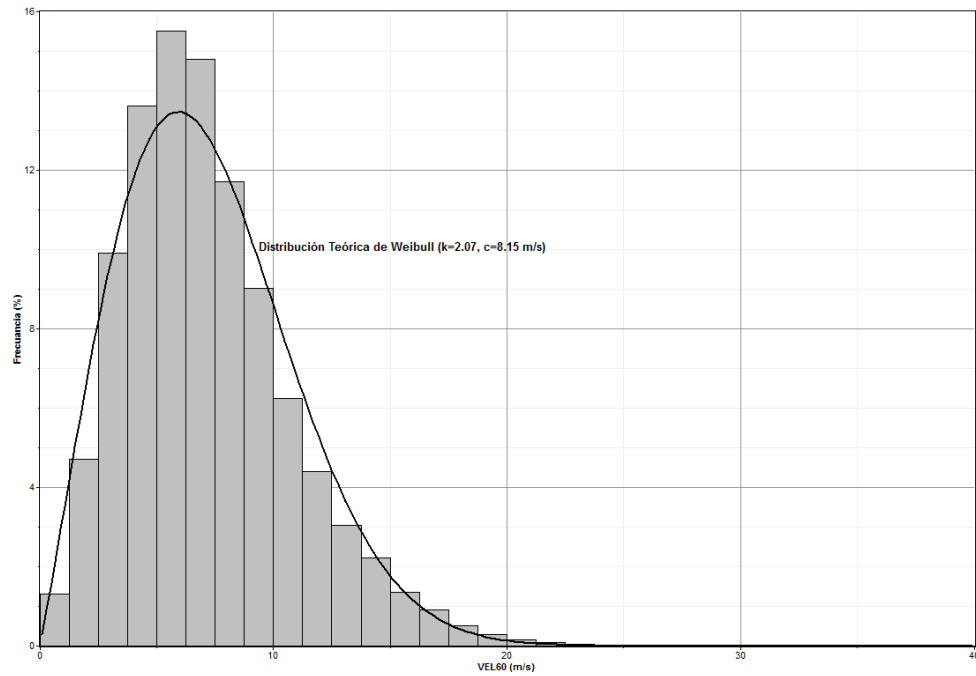


Figura 4. Curva de distribución de frecuencias de velocidades a 60 metros de altura

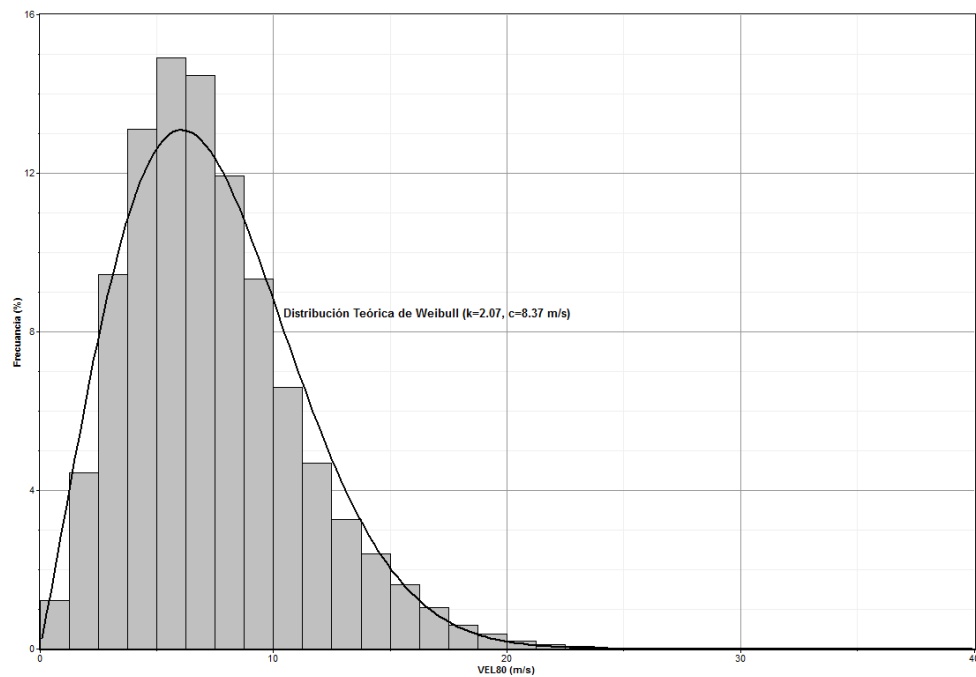


Figura 5. Curva de distribución de frecuencias de velocidades a 80 metros de altura

Las figura 6 y 7 muestran los resultados de la modelación de la velocidad media y densidad de potencia del viento a 80 metros de altura.

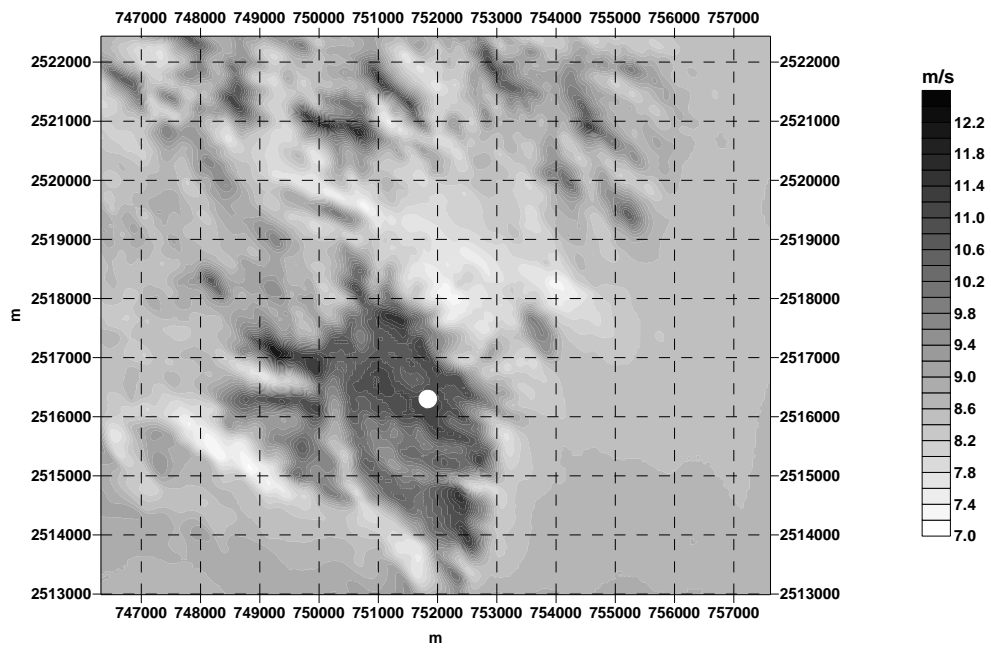


Figura 6. Velocidad media estimada en los alrededores del sitio de medición a 80 metros de altura

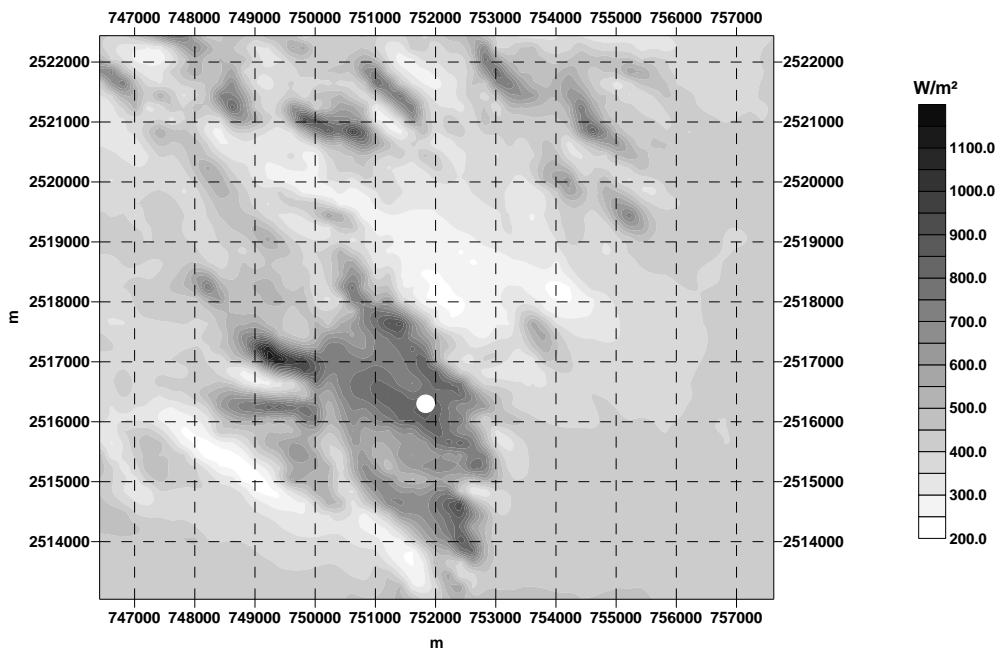


Figura 7. Densidad de potencia estimada en los alrededores del sitio de medición a 80 metros de altura

La figura 8 muestra la curva de potencia de un aerogenerador comercial de 1.8 MW de capacidad nominal y 90 metros de diámetro.

La tabla 2 muestra estimaciones de la potencia y energía generada y factores de capacidad en forma mensual y anual, considerando una altura del eje del rotor de 80 metros y un valor de densidad del aire  $\rho=0.89 \text{ kg/m}^3$ .

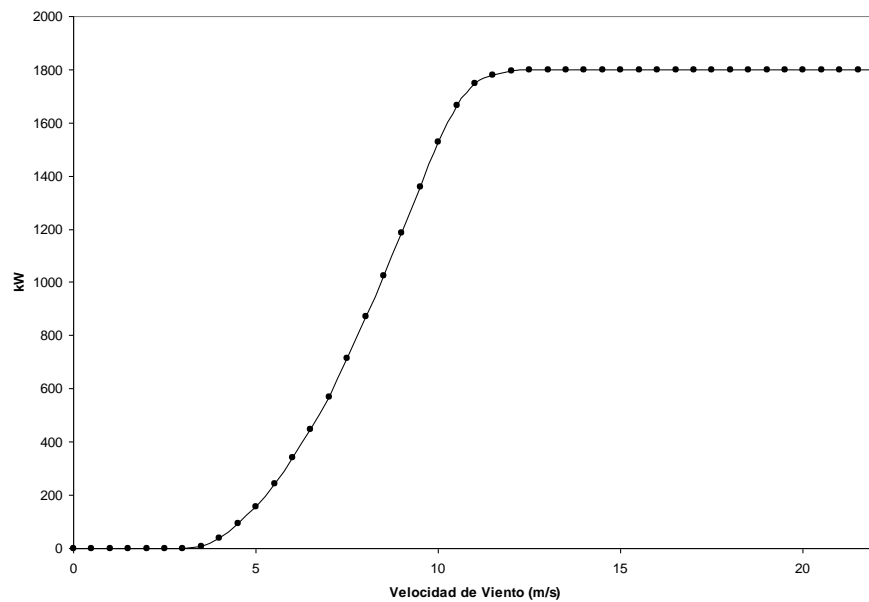


Figura 8. Curva de potencia de un aerogenerador comercial de 1.8 MW de capacidad nominal

Tabla 2. Generación mensual estimada

Mes	Velocidad media estimada (m/s)	Potencia Generada (kW)	Energía Generada (MWh)	Factor de Planta (%)
Ene	8.39	727.0	540.9	40.4
Feb	8.90	803.8	540.2	44.7
Mar	9.57	874.3	650.6	48.6
Abr	9.03	841.7	606.0	46.8
May	7.39	576.9	429.2	32.1
Jun	6.15	345.1	248.5	19.2
Jul	6.50	409.0	304.3	22.7



Mes	Velocidad media estimada (m/s)	Potencia Generada (kW)	Energía Generada (MWh)	Factor de Planta (%)
Ago	6.00	326.1	242.6	18.1
Sep	5.52	259.0	186.5	14.4
Oct	6.15	364.5	271.2	20.2
Nov	7.43	525.1	378.1	29.2
Dic	7.89	667.0	496.2	37.1
<b>Promedio</b>	7.41	559.2	4898.6	31.1

Nota: Se consideró un 6.82% global de pérdidas.

## Conclusiones

El sitio estudiado presenta características de viento adecuadas para su explotación energética con fines de generación eoloelectrónica. Se requieren realizar estudios sobre la instalación de aerogeneradores considerando las características del terreno, requerimientos técnicos e impactos ambientales.

## Bibliografía

- Proyecto: Evaluación de los potenciales eólico del cerro de La Virgen y solar de Zacatecas. Clave ZAC-2006-C01-16112. Universidad Autónoma de Zacatecas. Abril, 2010.
- INEGI. GEMA Geomodelos de altimetría del territorio nacional. México.
- RISØ. Getting started with WASP 8. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. 2003.

## Agradecimientos

Al Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación (COZCYT) por el apoyo brindado a través del proyecto ZAC-2006-C01-16112 del cual se derivó la información empleada para la realización del presente trabajo.