

ARTICULO ORIGINAL

# CONDICIONES AMBIENTALES TECNOLÓGICAS Y ECONÓMICAS PARA LA INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN LAS LOMAS DE LACHAY

## ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY FOR THE INSTALLATION OF A WIND FARM IN Lachay

Recibido: 29/03/16

Revisado: 30/03/16

Aceptado: 31/03/16

CARLOS JOB FIESTAS URBINA<sup>1</sup>, BENIGNO BENITO LIZÁRRAGA ZAVALA<sup>2</sup>,  
JULIO CÉSAR VALENCIA BARDALES<sup>1</sup>

### RESUMEN

En el presente artículo tecnológico, se realiza el análisis técnico económico para la propuesta de la primera etapa de un parque eólico en las Lomas de Lachay, consistente en dos aerogeneradores de 600 kW cada uno. Considerando una velocidad promedio del viento de 6.25 m/s se ha obtenido los resultados siguientes: Inversión inicial de USD \$ 1 170 000, una relación de Beneficio/Costo = 1.12, un Valor Actual Neto = USD 2 802 329.5, y una Tasa Interna de Retorno de 27.01%.

**Palabras clave:** Parque eólico, aerogenerador, turbina, electricidad

### ABSTRACT

In this Technologic article, economic and technical analysis is made for the first phase proposal of a wind farm in the Lachay Mountains Reserve, consisting of two 600 kW wind turbines. Considering an average wind speed of 6.25 m/s was obtained the following results: Initial investment of USD \$ 1.17 million, a ratio of Benefit / Cost = 1.12, a Net Actual Value (NAV) = USD 2 802 329.5, and Internal Rate Return of 27.01 %

**Keywords:** wind farm, wind turbine, turbine, electricity.

### INTRODUCCIÓN

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de energía solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se calienta y expande, y se hace por lo tanto más liviana con a elevarse. El aire más frío y más pesado que está ubicado sobre los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento ocupando el lugar dejado por el aire caliente.



Figura 1. Parque Eólico

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la cantidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del

<sup>1</sup> Docente de la Facultad de Ciencias. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Lima - Perú.

<sup>2</sup> Docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del diseño del aerogenerador que se vaya a utilizar, la cual suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "*cut-in speed*", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "*cut-out speed*".

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operáticas, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como aerogenerador.



**Figura 2.** Parque Eólico en Lanjaron (Granada) España. Los aerogeneradores se instalan en la cresta de las lomas.

En la actualidad la energía del viento se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores. En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador eléctrico, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Un molino es una máquina que transforma el viento en energía aprovechable, que proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de aerobomba. Si se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento. Los molinos tienen un origen remoto.

### UBICACIÓN DEL PARQUE EOLICO

En Huacho, hemos elegido la zona de las Lomas de Lachay como una zona donde instalaremos los aerogeneradores del Parque Eólico.

La zona elegida es aquella donde se encuentran instalados los captadores de neblina, en la cresta de las lomas como se muestra en el mapa, a una altura mayor a los 500 msnm. En esta zona hay comentarios que los vientos son de 10 m/s (36 Km/h), y de alta densidad, datos que son necesarios medir y comprobar.



**Figura 3.** Elaboración Propia, con la ayuda tecnológica de Google earth.

### ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INVERSIÓN

#### Información extraída de

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/1/01/02/08/es/tour/econ/index.htm>

#### Máquinas típicas de 600 kW en el mercado actual

Incluso si los precios son muy similares en el rango de 500 a 750 kW, no tiene necesariamente que elegir una máquina con un generador lo más grande posible. Una máquina con un gran generador de 750 kW (y un diámetro de rotor relativamente pequeño) puede generar menos electricidad que otra de, digamos, 450 kW, si está situada en una zona de vientos suaves. Hoy en día el caballo de carga es típicamente una máquina de 600 kW con una altura de torre de 40 a 50 metros y un diámetro de rotor de alrededor de 43 metros.

A continuación presentamos un aerogenerador típico danés de 600 kW, con cuyas características vamos a estimar la posibilidad de invertir en un parque eólico en las LOMAS DE LACHAY, su precio se muestra en la tabla 3.1, (cantidades aproximadas en dólares americanos, los precios pueden variar con la altura de la torre, el diámetro del rotor y las especificaciones locales):

**Tabla 1.** Precio De Aerogenerador

Moneda	USD ▼
Aerogenerador típico de 600 kW	400 000 - 500 000
Costes de instalación típicos	100 000 - 150 000
Total	500 000 - 650 000

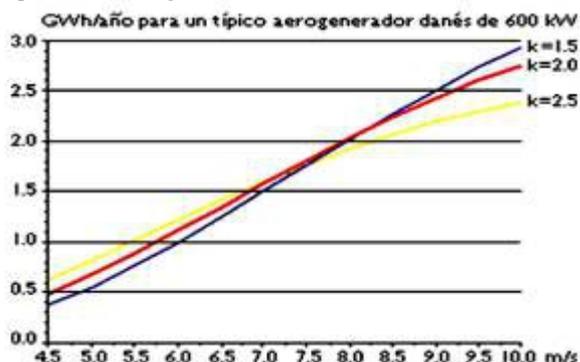
(\*) Los precios, costes y tipos de cambio eran bastante exactos el 13 de febrero de 1998. El rango de precios va del modelo más barato de turbina, sin ningún extra, a un modelo especial para vientos suaves con una torre alta y un gran diámetro de rotor. Los costes de transporte no están incluidos.

**Fuente:** Asociación danesa de la industria eólica (visita guiada). (Consultada el 24/Marzo/2016). <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/us o/1/01/02/08/es/tour/econ/index.htm>.

**Producción de energía en un aerogenerador**

El gráfico muestra como la producción de energía anual (en millones de kWh) varía con la intensidad del viento de la localización. Con una velocidad de viento media de, digamos, 6.75 m/s a la altura del buje, obtendrá alrededor de 1,5 millones de kWh de energía anuales.

**Figura 4.** Energía Versus Velocidad



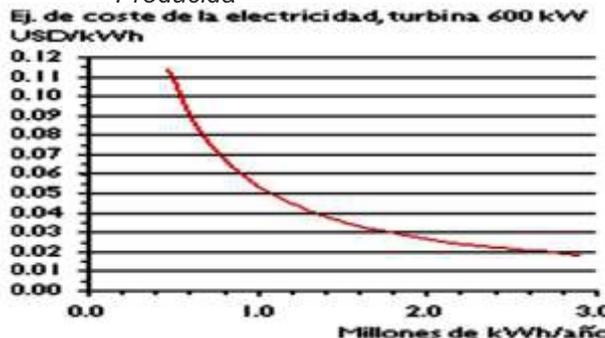
**Fuente:** Asociación danesa de la industria eólica (visita guiada). (Consultada el 24/Marzo/2016). <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/us o/1/01/02/08/es/tour/econ/index.htm>.

Como se puede ver, la producción de energía anual varía aproximadamente con el cubo de la velocidad del viento a la altura del buje. La producción de energía respecto a la velocidad del viento varía con la distribución de probabilidad del viento, distribución de Weibull. En este gráfico tenemos tres ejemplos con diferentes valores de k (factores de forma). En nuestro ejemplo trabajaremos con la curva roja (k=2).

**Costos operativos de aerogeneradores**

La producción anual de electricidad variará enormemente dependiendo de la cantidad de viento del emplazamiento de su turbina. Así pues, no hay un único precio para la energía eólica, sino un rango de precios, dependiendo de las velocidades de viento.

**Figura 5.** Costo Operativo Unitario Versus Energía Producida



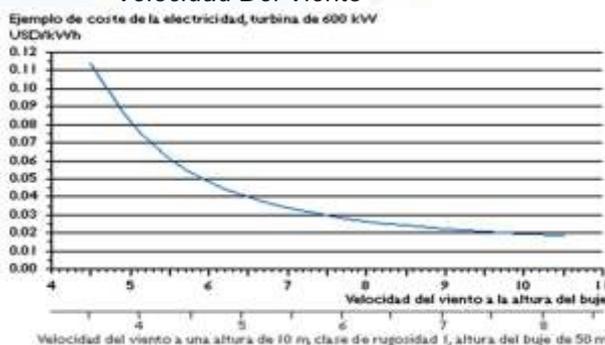
**Fuente:** Asociación danesa de la industria eólica (visita guiada). (Consultada el 24/Marzo/2016).

El gráfico de la Fig. 5 muestra cómo varía el coste de la electricidad producida por un aerogenerador típico danés de 600 kW con la producción anual.

La relación es en realidad muy simple: si produce el doble de electricidad por año, paga la mitad de coste por kilovatio hora (si piensa que los costes de mantenimiento aumentan con el uso de la turbina, el gráfico no será exactamente cierto, pero estará muy cerca de serlo).

Si se combinan los dos gráficos anteriores Fig. 4 y Fig. 5, encontraremos la relación entre las velocidades del viento y los costes por kWh, mostrada en la Fig. 6.

**Figura 6.** Costos Operativos Unitarios Versus Velocidad Del Viento



**Fuente:** Asociación danesa de la industria eólica (visita guiada). (Consultada el 24/Marzo/2016).

Todas las características y parámetros que se describirán se basan en los datos siguientes:

Un aerogenerador de 600 kW con una vida de proyecto de 20 años; inversión = USA \$ 585000, costes de instalación incluidos; 5 por ciento anual de tasa de interés real, velocidad promedio del viento en el buje 6.25 m/s (22.5 Km/h), producción de energía anual de la turbina tomada de las gráfica de la Fig. 4, costos operativos tomados de la gráfica de la Fig. 5. Observe que las velocidades del viento a una altura de buje de 50 metros son alrededor de un 28 a un 35 por ciento mayores que a una altura de buje de 10 metros, que es la que normalmente se utiliza para observaciones meteorológicas. Mire el eje gris de la

parte inferior del gráfico de la Fig. 6 para ver cómo las velocidades del viento a 10 metros de altura pueden convertirse en velocidades de viento mayores. Por ejemplo, una velocidad de viento de 6,25 m/s a 10 metros de altura en una clase de rugosidad 1 se convertirá en 8 m/s a una altura de buje de 50 m.

### Análisis Económico

La longitud de la trayectoria de la línea roja sobre la cresta de las Lomas de Lachay, mostrada en el mapa de la Fig. 3, tiene una longitud aproximada de 3000 m. Si instalamos dos aerogeneradores de 600 KW separados por una distancia 500 m podríamos instalar 13 aerogeneradores.

En el presente estudio consideraremos la instalación de dos aerogeneradores de este tipo.

Considerando las gráficas 4 y 5, tendremos un parque eólico con las siguientes características.

**Tabla 2.** Inversión Estimada En El Parque Eólico De Las Lomas De Lachay

Potencia Instalada (KW/ torre)	Inversión para 2 Torres (USA \$)	Velocidad del Viento en el Buje (m/s)	Producción Anual de Energía (KW/año)	Costo Unitario (USA \$/KW)	Costos Operacionales (USA \$/año)
600	1'170000.00	6.25	2'500000	0.0425	106250.00

Precio promedio por torre: 975.00 (USA \$/KW)

Cantidad de aerogeneradores: 2

**Tabla 3.** Análisis Económicos del Proyecto

**Datos:**

**Inversión:** 1 170 000 (USA \$)

**Amortización Anual:** 270240 (USA \$)

**Precio Kwh:** 0.17 (USA \$/KWh)

**Producción Energética:** 2 500 000 (KWh/año)

**Valor de la Energía Producida:** 425 000 (USA \$/año)

**Costos de Operación Anual:** 106250 (USA \$/año)

**Interés Anual Real:** 5 (%)

i	INVERSIÓN <sub>i</sub> (USA \$)	COSTOS <sub>i</sub> (USA \$)	INGRESO <sub>i</sub> (USA \$)	UTILIDAD <sub>i</sub> (USA \$)	COST. ACT. (USA \$)	UTIL. ACT. (USA \$)
0	1170000	1170000	0	-1170000	1'170000.00	-1'170000.00
1		106250	425000	318750	101190.48	303571.43
2		106250	425000	318750	96371.88	289115.65
3		106250	425000	318750	91782.74	275348.24
4		106250	425000	318750	87412.14	262236.41
5		106250	425000	318750	83249.66	249748.976
6		106250	425000	318750	79285.39	237856.16
7		106250	425000	318750	75509.89	226529.67
8		106250	425000	318750	71914.18	215742.55
9		106250	425000	318750	68489.70	205469.09
10		106250	425000	318750	65228.28	195684.85
11		106250	425000	318750	62122.17	186366.523
12		106250	425000	318750	59163.98	177491.927
13		106250	425000	318750	56346.64	169039.931
14		106250	425000	318750	53663.47	160990.41
15		106250	425000	318750	51108.07	153324.20
16		106250	425000	318750	48674.35	146023.048
17		106250	425000	318750	46356.52	139069.569
18		106250	425000	318750	44149.07	132447.209
19		106250	425000	318750	42046.73	126140.199
20		106250	425000	318750	40044.51	120133.523
Σ	1170000	3 295 00	8 500 000	5 205 000	2 494 109.85	2 802 329.55

**Beneficio/Costo=** 1.1236

**TIR=** 27.01(%)

**VAN=** USA \$ 2 802 329.55

**TASA DE INTERES real =** 5 (%)



### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Considerando una tasa de interés bancaria del 5 %, y un precio de la energía eléctrica de USA \$ 0.17, la instalación de dos aerogeneradores de 600 KW, con una inversión inicial de USA \$ 1'170 000.00, resulta rentable, en mérito a los siguientes parámetros económicos.

El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto en un horizonte de 20 años es de USA \$ 2'802 329,55.

La tasa interna de retorno (TIR) es de 27,01 (%).

El ratio BENEFICIO/COSTO es 1.1236.

La energía obtenida puede ser útil para alimentar la zona turística de las LOMAS DE LACHAY, de manera limpia.

Este proyecto constituye una excelente propuesta para ser financiado con los fondos de FOCAM y CANON.

El proyecto puede ser el piloto para otras aplicaciones en la zona costera entre Chancay y Huacho.

Recomiendo que se tomen datos meteorológicos de temperaturas máxima y mínima, presión atmosférica máxima y mínima, Humedad relativa máxima y mínima, velocidad del viento, densidad del viento; en la zona descrita por la línea roja en el mapa de las LOMAS DE LACHAY mostrado en la Fig. 3.

Recomiendo la elaboración de un estudio a nivel de perfil en formato SNIP, para proponer la inversión del estado con recursos de FOCAM y CANON, para la realización de este proyecto.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_e%C3%B3lica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica).

<https://maps.google.com.pe/maps?hl=es-419>.

Asociación danesa de la industria eólica (visita guiada). (Consultada el 24/Marzo/2016).

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/1/01/02/08/es/tour/econom/index.htm>.

ANDRADE ESPINOZA, Simón (2002). Preparación y evaluación de proyectos. Lima,. Editorial y Librería Lucero S. R. L.