

ANEXO N° 1

Informe Técnico Central Piloto Malabrigo

Anexo 1

CENTRAL EOLICA PILOTO DE MALABRIGO

250 kW

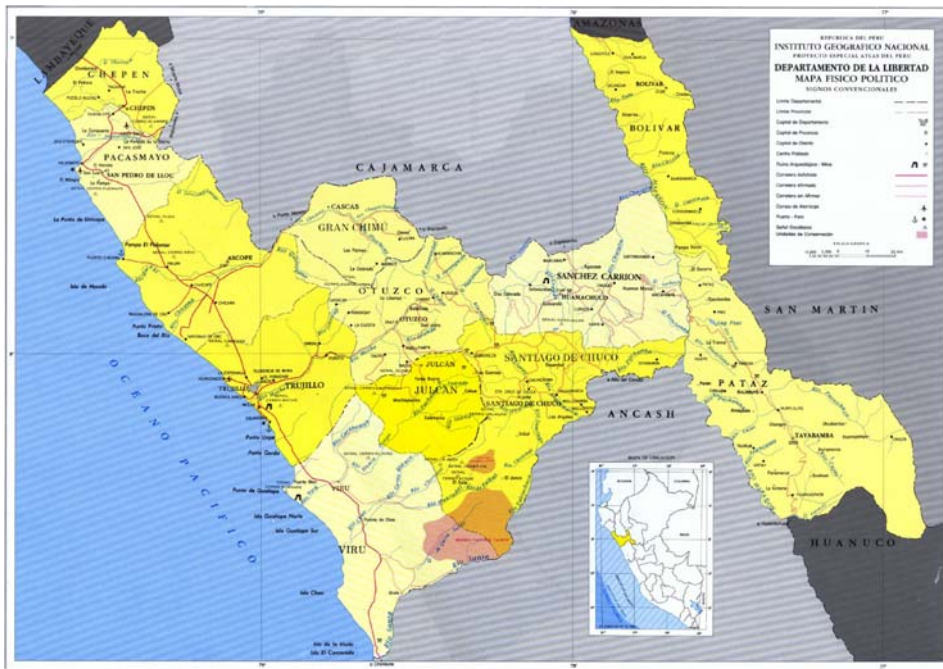


2004

CENTRAL EOLICA PILOTO DE MALABRIGO 250 kW

UBICACION

La Central Eólica de Malabrigo se encuentra ubicada en Malabrigo, provincia de Ascope departamento de La Libertad .



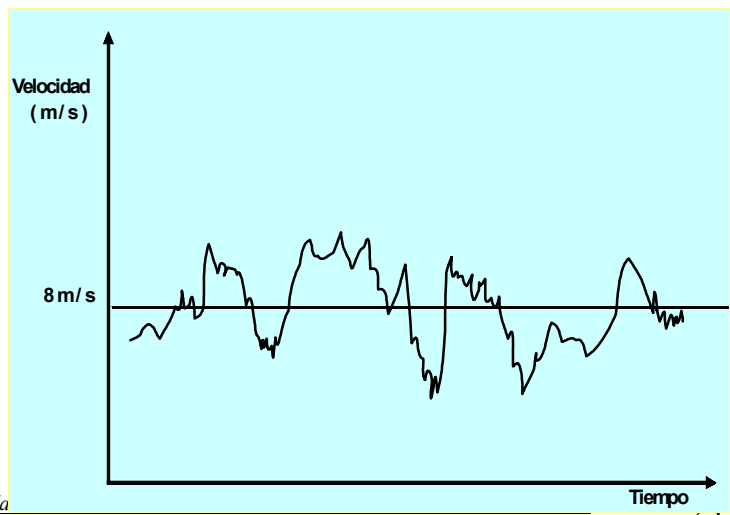
DESCRIPCION DEL EQUIPO

Tecnología : Dinamarca

Marca : MICON

Tipo de Turbina : Paso fijo(ángulo de ataque de los alabes fijo)

La Central Eólica Malabrigo de 250 kW fue fabricada en Dinamarca. Desde el año 1996 viene operando en forma normal. A la fecha se esta cumpliendo con el mantenimiento de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, el año 2002 se efectuó el cambio de rodamientos del generador y mantenimiento del mismo en un taller especializado en Lima, para ello se ha requerido grúas de gran tonelaje para el



desmontaje y maniobras de los equipos a una altura de 30 m., superando los costos normales por mantenimiento preventivo; asimismo, se está efectuando un mantenimiento adicional por efectos de la corrosión debido a la contaminación ambiental que es muy severa en el lugar.

Dada las condiciones de operatividad de la Central Eólica y presentado el menor número de fallas comparadas con la otra máquina de Malabrigo, se puede decir que ha cumplido exitosamente con las expectativas de un Proyecto Piloto; asimismo, se ha acopiado información suficiente que servirá de referencia para nuevos proyectos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Sistema	Conexión a la red
Potencia	250 kW
Número de aspas	3
Diámetro de las aspas	28 m
Potencia del generador	250 / 50 kW
Altura de la torre	30 m
Transformador elevador	312 kVA
Peso total (turbina y torre)	28 Ton
Monitoreo a distancia	Si
Procedencia de las máquinas	Dinamarca(MICON)

REGISTRO DE VIENTOS

1. Régimen de Vientos

Malabrigo: Desde el año 1996, en 7 años, se ha registrado datos de frecuencias de velocidad del viento, obteniéndose a la fecha un promedio aproximado de 8 m/s a una altura de 30 m.

2. Densidad de Potencia

El potencial aprovechable se puede evaluar mediante la densidad, es decir, la potencia del viento por unidad de área de impacto en las aspas de un aerogenerador.

Con los datos históricos de velocidad de viento registrados en la central de Malabrigo se ha obtenido una densidad de potencia de 310Watts / m².

3. Parámetros Hallados de la Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es representada por la siguiente expresión:

$$f(v)=(k/C).(v/C)^{(k-1)}.exp(-(v/C)^k)$$

Donde:

$f(v)$ = función de Weibull

k = Parámetro de Forma

C = Parámetro de Escala

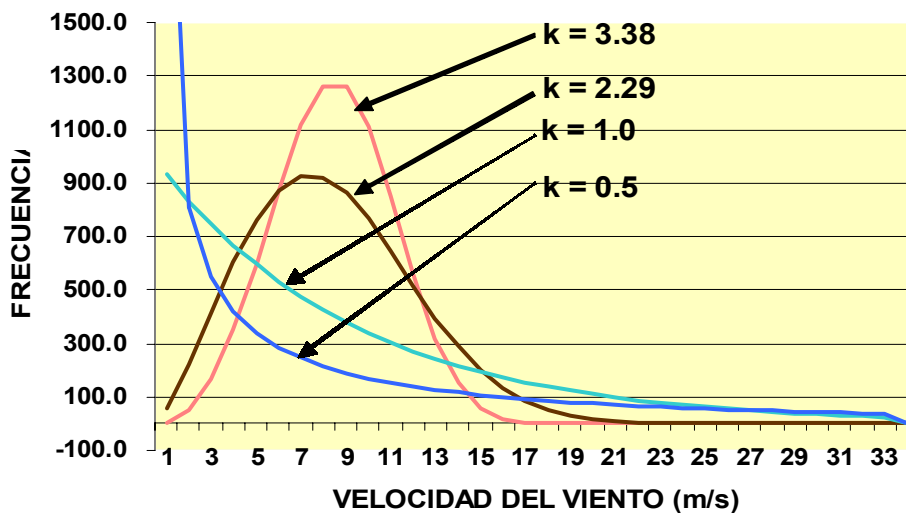
El parámetro **k** tiene gran influencia en la expresión **f(v) distribución de Weibull** ya que determina la forma de la curva. Gracias a la distribución de Weibull se puede representar el tipo de comportamiento del viento en la zona; con los datos registrados, se han determinado los siguientes valores:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{weibull}} &= 3.38 \\
 C_{\text{weibull}} &= 7.82 \text{ m/s} \\
 \text{Velocidad Promedio} &= 8.0 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

4. Interpretación de los Parámetros Hallados

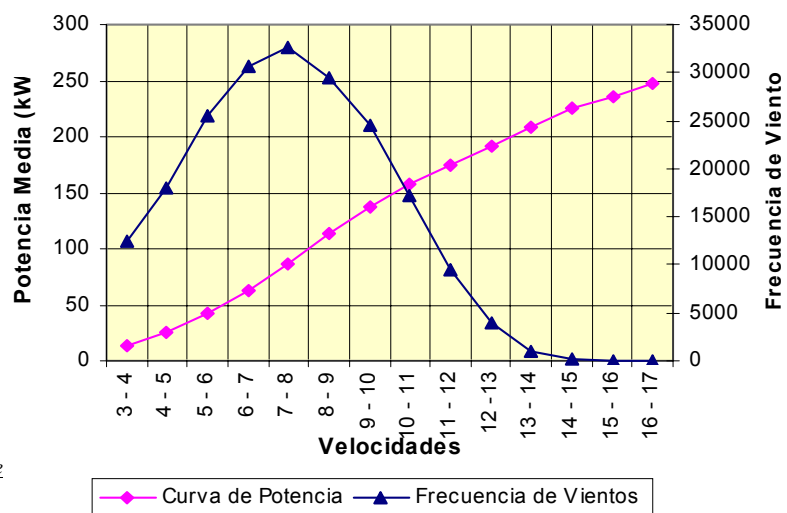
La interpretación del parámetro **k**, en Malabrigo **k = 3.38** corresponde a la curva de distribución Normal o Gaussiana; los valores hallados son dinámicos en el tiempo y pueden variar de acuerdo al régimen del viento, y es improbable obtener valores menores que los hallados por los registros que se cuenta, estos resultados muestran buen potencial eólico de la región.

INFLUENCIA DEL PARÁMETRO DE FORMA (K)



5. Velocidad del Viento en Malabrigo.

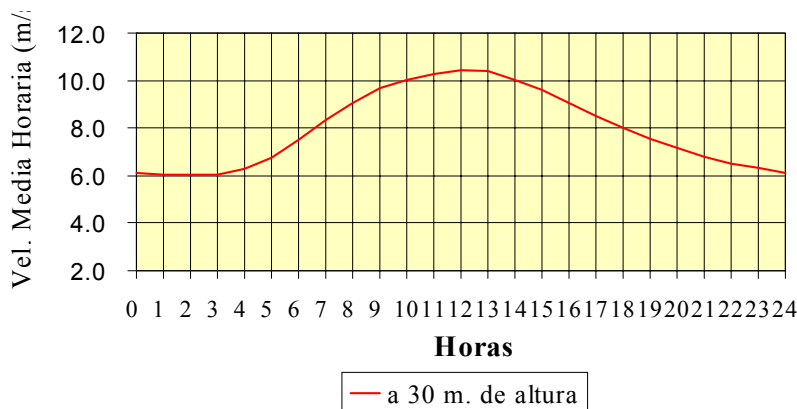
En la figura se puede observar dos curvas, una corresponde a la frecuencia del viento y la otra a la curva de potencia de salida del generador, los registros son resultado del almacenamiento de datos desde el año 1996



Se observa en la curva de frecuencia de vientos, la mayor frecuencia de velocidad de viento promedio acumulado se presenta en el rango de 8 m/s a 30 m. de altura.

6. Velocidad de viento Diario

Los registros acumulados de velocidad de viento diario, se muestran en la figura, la característica general del lugar indica que las velocidades menores se inician a partir de las 23:00 horas hasta las 5:00 horas, llegando incluso a parar la máquina en algunos casos por falta de viento; sin embargo, en promedio casi todo el tiempo se encuentra generando energía eléctrica y las horas punta (18:00 a 23:00 horas).



Los resultados registrados a la fecha muestran los promedios de velocidad de viento entre 6 m/s y mayores de 10 m/s, estadísticamente, se han registrado velocidades de viento de hasta 17 m/s.

7. Generación de Energía

La energía eléctrica generada por la Central Eólica es entregada a la sub-estación de Malabrigo en la barra de 10 kV de propiedad de Hidrandina S.A, El promedio de generación de energía mensual durante los 7 años es de 48,300.0 kWh.

La energía acumulada a mayo 2004 es de 4'509,683.0 kWh con 57,907 horas de funcionamiento.

8. Factor de Capacidad (FC)

Los registros acumulados desde la fecha de funcionamiento de la máquina han dando como resultado de 35 %

En Alemania, país líder en la generación de energía eólica, las instalaciones evaluadas promedian un FC de 21%.⁸

9. Costos de la Central Piloto

Central Eólica Malabrigo 250 kW	432 838.00 US\$
Costo Unitario	1 731.00 US\$/kWh

Este costo es el resultado del proceso de adquisición lleve en mano realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (por lo que están libres de impuestos).

10. Determinación del Costo de Generación, Costo de Operación y Mantenimiento y VAN de los Proyectos Piloto.

10.1 Costos de Operación y Mantenimiento

El estimado de los costos de Operación y Mantenimiento se ha tenido en cuenta las siguientes actividades y servicios:

- Servicio telefónico en la Central para monitoreo de datos
- Operación y mantenimiento preventivo
- Alquiler de grúa
- Mantenimiento especial- repuestos
- Mantenimiento de línea de interconexión
- Mantenimiento anticorrosivo
- Mantenimiento de sistemas de control y software

El resultado es el siguiente:

Central Eólica Malabrigo 250 kW	Cent.US\$/kWh	Cent.S./kWh
Costo de Operación y Mant.	3.34	11.4

Estos resultados equivale al 4% de la Inversión

10.2 Costo de Generación de Energía

Debido a que el proyecto es piloto los costos de generación de energía son elevados. En la evaluación no se consideran los aspectos favorables que se obtendrían por economías de escala ya

que no es un bosque eólico. Los resultados de la evaluación servirán para determinar los niveles de costos y tarifarios para futuros proyectos de inversión en energía eólica.

El costo de generación se determinará utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de Generación} = (CCA + C O\&M) / (FC \cdot H) = [\text{US\$ /kWh}]$$

Donde:

CCA : Costo de capital anualizado en US\$ /kW
 C O&M : Costo de Operación y Mantenimiento en US\$/kW

Las consideraciones asumidas se describen en la siguiente Tabla.

COSTO DE GENERACION DE ENERGIA EN cUS\$/kWh	
CENTRAL EÓLICA 250 KW MALABRIGO	
ANALISIS TECNICO	
AEROGENERADOR:	
DIAMETRO DE LA PALA	28
AREA DEL ROTOR EN (m2)	616
DENSIDAD MEDIA Kg/m3	1.23
FACTOR DE CORRECCON DE DENSIDAD	1
VELOCIDAD MEDIA ALTURA DEL ROTOR (m/s)	8
TIEMPO EN HORAS	6973
ENERGIA MAXIMA EXTRAIBLE DEL VIENTO EN kWh(teórico)	1351984.47
ENERGIA MAXIMA DE SALIDA DE LA TURBINA EN kWh	1216786.02
ENERGIA REAL DE SALIDA CON DISPONIBILIDAD EN kWh	575236.92
DISPONIBILIDAD REAL	0.95
DISPONIBILIDAD TECNICA	0.98
POTENCIA NOMINAL (RP) EN kW	250
FACTOR DE CAPACIDAD	33.0%
COSTOS	
NUMERO DE TURBINAS	1
POTENCIA INSTALADA EN kW	250
COSTO DE INSTALACION DE LA CENTRAL EN US\$	432838.00
COSTO DE INSTALACION DE LA CENTRAL EN US\$/kW	1731.35
TIEMPO DE CONSTRUCCION EN MESES	2
TASA DE INTERES DE CALCULO DE COSTO ALTERNATIVO	8%
INTERES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN US\$/kW	3.71
COSTO TOTAL CAPITAL US\$/kW	1735.06
VIDA UTIL EN AÑOS	20
TASA DE INTERES REAL	12.0%
COSTO DE CAPITAL ANUALIZADO US\$/kW	232.29
COSTO FIJO DE O&M ALTERNATIVO 4% DE LA INVERSION	69.25
COSTO TOTAL DE GENERACIÓN (cUS\$/ kWh)	13.11
COSTO TOTAL DE GENERACIÓN (cS/. kWh)	44.82

Los resultados encontrados son los siguientes:

Descripción	Malabrigo 250 KW
Costo de Generación en cUS\$/kWh	13.1
Costo de Generación en c S/./kWh	44.0

10.3 Proyección Técnico-Económica del Proyecto Piloto

Los ingresos por concepto de venta de energía eléctrica durante los siguientes 5 años a partir del año 2004, cuyos resultados se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 6. El periodo 2004-2008 se estima un déficit para ADINELSA de S/. 55,357.25, esta cifra proyectada se ha obtenido de acuerdo a los datos históricos, se ha considerado los gastos de seguro, depreciación, por mantenimiento correctivo y tratamiento anticorrosivo a cargo de ADINELSA y operación y mantenimiento preventivo a cargo de Hidrandina. Se espera un mantenimiento mayor o cambio de equipos en los años 2010 o 2011.

Tabla 8: Proyecciones Económicas de la Central de Malabrigo

	2004	2005	2006	2007	2008	TOTAL
1.-Producción de Energía (kWh)	500,000	579,836	579,836	579,836	579,836	2,819,343.0
2.-Ingresos por Generación (S/.)	55,000.0	63,782.0	63,782.0	63,782.0	63,782.0	310,128.0
3.-Costos de Operación y Mantenimiento (S/.)	73,485.0	73,000.0	73,000.0	73,000.0	73,000.0	365,485.5
4.-Ingreso neto a ADINELSA	-18,485.0	-9,218.0	-9,218.0	-9,218.0	-9,218.0	-55,357.25

A la fecha la Central Eólica de Malabrigo se encuentra operando en condiciones normales entregando energía eléctrica a HIDRANDINA en barras en la subestación de Malabrigo mediante convenio comercial.

La proyección en el periodo 2004-2008 da como resultado lo siguiente:

Ingresos por generación	: S/.310,128.00
Costos de operación y mantenimiento	: S/.365,485.50
Déficit	: S/. 55,357.25

La evolución proyectada de acuerdo a los datos históricos de producción e ingresos por generación de energía, el balance es negativo, debido al alto costo de la operación y mantenimiento debido al balance comercial se considera depreciación, seguros y otros que encarecen para un aerogenerador

De acuerdo a la evolución de los costos los mayores gastos se efectuaron en el año 2002 y 2003, es decir, se esperaría entre 7 a 8 años para efectuar nuevos desembolsos los cuales no están considerados en la evolución de los próximos 5 años.

10.4 Evaluación Económica

Los proyectos que administra ADINELSA, deben tener un tratamiento mediante el cual no solamente debe verse la Evaluación Social sino fundamentalmente la Evaluación Económica por ser ADINELSA empresa de servicio público con derecho privado, motivo por el cual, en cada proyecto debe ser considerado el costo de inversión registrados en los libros de la empresa.

El siguiente cuadro muestra la información registrada de los costos de la infraestructura eléctrica y los resultados promedios de generación de energía eléctrica.

Costo de la Central Eólica	US\$ 432 838.00
Costo Unitario	1 731.00US\$/ Kw
Energía promedio mensual	48.30 MWh
Costo de O & M	3.34 Cent US\$/kWh

Los parámetros asumidos para la evaluación económica son las siguientes:

- Tarifa en barra en subestación base de Malabrigo
- Inversión del proyecto (transporte, montaje y puesta en operación)
- Energía real de salida del generador
- Vida útil de 20 años
- Tasa de descuento de 12 %
- Tasa de interés durante la construcción 8%
- Factor de Capacidad de la central de acuerdo a los datos históricos
- Horas de funcionamiento anual promedio

Para el análisis del Valor Actual Neto (VAN) se han utilizado **tres escenarios**.

Escenario 1.- Asumiendo la inversión inicial hecha en el proyecto y realizando el análisis para los 20 años de vida del proyecto.

Escenario 2.- Asumiendo que los aerogeneradores ya vienen trabajando por mas de 6 años, por lo que es necesario asumir la depreciación resultado de su uso.

Escenario 3.- Asumiendo a los equipos como un costo hundido, es decir asignando un valor de los equipos igual a cero.

Tabla 9: Análisis de Escenarios para cálculo de VAN

		Malabrigo 250 kW
Escenario 1	VAN asumiendo costo total de los equipos	-411,940
Escenario 2	VAN asumiendo depreciación de los equipos	-224,980
Escenario 3	VAN asumiendo costo del los equipos iguales a cero ⁹	18,050

11. Bosque Eólico en Malabrigo

Los bosques eólicos, están constituidos por un conjunto de aerogeneradores ubicados en un determinado área cuya suma total representa la potencia instalada, la uniformidad de la velocidad del viento dependerá de la característica del terreno, la geografía de Malabrigo y San Juan de Marcona son muy parecidos del tipo eriazo, los registros de velocidad del viento

13030_____

⁹ Muestra el flujo de caja positivo, en esta condición, reporta utilidades a la Empresa

sirven para estimar el potencial eólico del lugar las extensiones del terreno que se cuenta, la potencia aproximadas para Malabrigo de 30 MW

11.1 Potencial Eólico

Uno de los modelos matemáticos que semeja el comportamiento del viento de ambos lugares, es la función de Weibull.

$$f(v) = (k/C) \cdot (v/C)^{k-1} \cdot \exp(-(v/C)^k)$$

Donde:

f(v) = función de Weibull en %

C = Parámetro de forma en m/s

k = Parámetro de escala

Los parámetros *C* y *k* se determina mediante cálculos estadísticos tomando como base los registros de la velocidad del viento *v*.

Los valores encontrados¹⁰ son *C* = 11.30 m/s , *k* = 3.46 y *v* = 10.31 m/s

Los potenciales energéticos que se puede extraer del viento, se han calculado de acuerdo a la siguiente relación:

$$E = f(v) \times (\text{horas}) \times (\text{Potencia de la Turbina}) \times N^{\circ} \text{ de Turbinas}$$

Donde:

E = en kWh

Potencia de la turbina en kW (curva de potencia)

f(v) = función de Weibull en función de *C* y *k*, por cada rango de velocidad

Los valores de energía (*E*) son afectados por factores de pérdidas y utilización, los resultados se aproximan a la energía real de salida.

La disposición de las turbinas en el terreno dependerá del diseño de la disposición de las turbinas en el plano del bosque eólico, sin embargo, como información de base, la configuración del terrenos es del tipo arenoso y cuyo parámetro de rugosidad (*Z_o* (m)) se estima entre 10⁻⁴ a 10⁻³ m.

11.2 Resultados del Potencial de los Bosques Eólicos

Los resultados obtenidos de los parámetros de los bosques eólicos fue en base a la data de los registros de viento en ambas Centrales, además, se ha tomado como referencia de cálculo, un aerogenerador de 750 kW (unidad comercial), obteniéndose los siguientes resultados:

13131

¹⁰ Los resultados encontrados de *C* y *k* es el promedio de dos evaluaciones proyectadas a 55 m, el primero resultado de la evaluación anemológica efectuada antes de instalar el aerogenerador en el año 1995 y el segundo, los resultados registrados por el sistema de monitoreo de la central eólica de 250 kW de Malabrigo desde el año 1996 a la fecha

Tabla 10: Posibilidad de futuros Bosques Eolicos

	MALABRIGO
Potencia instalada	30 MW
Periodo de evaluación anemológica	7 años
Velocidad media a 55 m (proyectada)	10.31 m/s
Número de aerogeneradores	40 unidades
Energía máxima extraíble del viento	318 GWh
Energía real de salida	108.35GWh
Costo estimado del bosque eólico	37 000 000.0 US\$
Costo unitario	1 233,0 US\$/Kw

De ejecutarse estos proyectos bajo las condiciones actuales de Mercado se obtendrían ingresos adicionales por la reducción de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) a la atmósfera, estos ingresos a los precios actuales del mercado hacen que los proyectos sean más atractivos. Los ingresos por reducción de emisiones por cada proyecto se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 11: Ingresos por venta de CO₂

	MALABRIGO
Reducción de Emisiones de CO ₂ , en toneladas	61,763
Precio de US\$7/ton CO ₂	US\$ 432,336
Precio de US\$10 /ton CO ₂	US\$ 617,629

Sin embargo a pesar de los posibles ingresos por el mercado de carbono, la rentabilidad de los proyectos aun es baja. Para que los proyectos sean rentables se necesitan tarifas superiores a las actuales. En el caso del bosque eólico de Malabrigo es necesario tener tarifas superiores a los 5,5 ctvos US\$/ kWh. Estas tarifas por ser mas altas que las actuales existentes en el mercado eléctrico sería consideradas Premium. Sin embargo podrían ser fácilmente alcanzables en condiciones del mercado por la crisis energética y con otros incentivos.

Tabla 12: VAN para tarifas Premium por energía eólica

	MALABRIGO
Tarifa de 3.5 ctvos US\$/kWh	VAN = - 15,869 (TIR=3%)
Tarifa de 4 0 ctvosUS\$/kWh	VAN = - 11,772 (TIR=5%)
Tarifa de 5,5 ctvosUS\$/kWh	VAN = 518 (TIR=12%)
Tarifa de 6.0 ctvos US\$/kWh	VAN = 4615 (TIR=15%)

Como se observa las tarifas actuales (de alrededor de 3 a 4 ctvos US\$/kWh) no hacen viable este tipo de proyectos aun. Por tal motivo es necesario contar con algún incentivo o subsidio que favorezca la inversión en estos proyectos. Es importante mencionar la experiencia europea que otorga precios superiores a aquellos generadores que produzcan energía con viento, motivo por el cual Alemania posee más de 17,000 MW de potencia instalada en proyectos eólicos y España tenga alrededor de 6000MW.