

Proyecto AQUAMAC

MAC 2.3/C58

Paquete de tareas P1.PT1

PROPUESTAS DE ACCIÓN PARA OPTIMIZAR LA AUTOSUFICIENCIA
ENERGÉTICA DE LOS CICLOS DEL AGUA

Tareas PT1-T1

Establecimiento de metodología y especificaciones técnicas
para los estudios de potencial y auditorías energéticas.
Localización de los ámbitos de trabajo por parte de los socios

Entregable 3

Guía para la realización de estudios de viabilidad técnico-económica de instalaciones de aprovechamiento de la energía eólica en los ciclos del agua

Entidad responsable: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

Fecha realización: Abril - Julio 2004

Fecha última actualización: 15 de Julio de 2004

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	El proyecto AQUAMAC	3
1.2	Binomio Agua – Energía	3
1.3	Introducción a la Energía Eólica.....	4
1.3.1	El Viento	5
1.3.2	Aprovechamiento de la Energía Eólica y aplicaciones.....	5
1.3.3	Aspectos medioambientales.....	11
1.4	Situación del aprovechamiento de la energía eólica en la UE y en Açores, Madeira y Canarias	11
2	OBJETO Y CONTENIDOS DE LA GUÍA	13
3	PRESENTACIÓN DEL CASO	13
4	EVALUACION DEL POTENCIAL EOLICO	14
4.1	Generación de la base de datos eólicos.....	14
4.1.1	Selección del lugar de ubicación de la estación de medida	14
4.1.2	Características de la estación de medida	15
4.1.3	Resultados campaña de medida.	17
4.2	Tratamiento estadístico de los datos eólicos.....	19
4.2.1	Metodología	19
4.2.2	Bases teóricas para el tratamiento estadístico de los datos (formulación empleada).....	19
4.2.3	Programas informáticos empleados en el estudio del potencial eólico ..	22
4.2.4	Tablas y gráficos	24
5	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ORIGEN EÓLICO. OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA EÓLICA INSTALABLE.....	29
5.1	Metodología	29
5.2	Bases teóricas para el cálculo de la energía eléctrica	29
5.2.1	Energía eléctrica obtenida de un parque eólico	31
5.3	Aplicación del método a un caso tipo	32
5.3.1	Análisis de la demanda eléctrica.....	32
5.4	Selección de los aerogeneradores	32
5.5	Parámetros energeticos a analizar en el estudio comparativo entre aerogeneradores	36
5.6	Programas informáticos empleados en el estudio energético	37
5.7	Resultados obtenidos	38
5.8	Optimización de la potencia eólica instalable	39
6	ANALISIS ECONÓMICO.....	40
6.1	Datos de partida del caso tipo	40
6.2	Resultados obtenidos para caso tipo	41
6.2.1	Análisis de la Sensibilidad Económica del Proyecto.....	41
6.3	Valoración de la disminución del coste del m ³ de agua desalada.	46

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *El proyecto AQUAMAC*

Este proyecto titulado TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA MACARONESIA ha sido aprobado en el marco de la Iniciativa Comunitaria INTERREG III B, Espacio **Açores-Madeira-Canarias**. En él participan socios como *Investimentos e Gestão da Água, S.A. (Madeira)*, *Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos (Açores)*, *Mancomunidad del Norte de Tenerife*, *Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria*, *Consejo Insular de Aguas de Lanzarote*, *Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria*, *Universidade da Madeira* y el *Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.* como Jefe de Fila.

Dentro de dicho proyecto, uno de los paquetes de tarea contemplados es: "*Propuestas de acción para optimizar la autosuficiencia energética de los ciclos del agua*". Dicho paquete de tareas se concretó en estudiar medidas de gestión y eficiencia energética, así como la sustitución de fuentes de energías convencionales (red eléctrica general) por el aprovechamiento de energías renovables asociadas al ciclo del agua (minihidráulica) o en las instalaciones vinculadas con los abastecimientos (estaciones de bombeo, edificios, captaciones, líneas de conducción, plantas de producción y tratamiento de aguas,...) y potenciar la minimización de la factura energética de los ciclos integrales de agua. El objetivo final de este paquete de tareas es demostrar las posibilidades de mejora de la eficiencia y autonomía energética de nuestros sistemas insulares de gestión de aguas y promover el intercambio de experiencias en toda la Macaronesia.

1.2 *Binomio Agua – Energía*

La gestión del agua en nuestras sociedades requiere cada vez más recursos energéticos para acciones como la captación de aguas de pozos y sondeos, el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como para su tratamiento en los sistemas de depuración convencionales. A medida que las demandas de agua se incrementan y se

extienden a zonas cada vez más amplias y con menos recursos, se hace necesario introducir las tecnologías de desalación de agua de mar. Por otro lado, el deterioro de la calidad de los recursos subterráneos y la necesidad de reutilización de las aguas depuradas en algunas zonas requiere introducir sistemas de desalinización para posibilitar su aprovechamiento. Todo este sistema puede llegar a suponer unos costes energéticos (y económicos) muy importantes para los sistemas de abastecimiento. Quizás el caso más extremo de esta situación se vea reflejado en algunas de las Islas Canarias, donde se puede establecer casi una equivalencia directa entre barriles de petróleo y agua potable disponible. Conociendo el consumo específico de los sistemas eléctricos de cada una de las islas, se pueden establecer equivalencias entre m^3 de agua y toneladas métricas (Tm) de combustible que es necesario importar y quemar cada año para producir y gestionar el agua demandada. Esta situación pone en constante riesgo la sostenibilidad de muchos sistemas de abastecimiento de agua. Pero por otra parte, el agua también puede ser fuente de energía como así se destaca en Madeira, Azores y algunas de las islas Canarias.

Es por ello que resulta interesante desde el punto de vista estratégico, profundizar en las posibilidades de eficiencia y ahorro energético en la gestión del agua en las islas, así como en el máximo aprovechamiento de las energías renovables endógenas.

1.3 Introducción a la Energía Eólica

La Energía Eólica es la energía producida por el viento. Fue una de las primeras fuentes de energía utilizada por el hombre. Los barcos a vela y los molinos de viento son las primeras manifestaciones del aprovechamiento de la energía eólica. Dentro de las posibilidades de las diferentes Energías Renovables, la eólica, por su grado de desarrollo y su carácter limpio e inagotable, tiene un alto grado de utilización como recurso energético propio (local), en aquellas áreas que cuentan con el viento necesario para permitir su aplicación.

1.3.1 El Viento

El viento es una consecuencia de la radiación solar que incide sobre la tierra y origina el calentamiento de las masas de aire que la circundan. Conviene tener en cuenta, que el viento cambia permanentemente de dirección y de velocidad, situación que puede ser incrementada por el efecto de los obstáculos.

Para su aprovechamiento energético es de vital importancia realizar correctamente una valoración energética del recurso eólico, para ello se hace una recopilación de datos de dirección y velocidad de viento. Los equipos de medida utilizados para tal fin son:

- Veleta: mide la dirección del viento.
- Anemómetro: mide la velocidad del viento.

Tanto la rotación del anemómetro como la posición de la veleta es captada de forma mecánica o eléctrica sobre un panel indicador, registro de papel o sistema de adquisición de datos para su visualización y posterior estudio.

1.3.2 Aprovechamiento de la Energía Eólica y aplicaciones

El aprovechamiento de la energía eólica se realiza mediante el empleo de máquinas llamadas aeroturbinas, aerogeneradores o molinos, que pueden ser de diversos tipos, tamaños y potencias. Para diferentes aplicaciones pueden utilizarse bien de forma individual o en grupo, recibiendo en este último caso la denominación de «Parque eólico». Una instalación eólica está constituida por un conjunto de equipos necesarios para transformar la energía contenida en el viento en energía útil, disponible para ser utilizada.

Se pueden beneficiar de la energía eólica múltiples sectores y actividades, tanto si están aisladas de la red eléctrica general como si están conectadas a red:



Las instalaciones conectadas a la red consisten en uno o varios aerogeneradores de igual o diferente dimensión y potencia, interconectados eléctricamente mediante redes eléctricas en baja y media tensión, dependiendo del tamaño de la instalación. Dentro del sector eólico, las instalaciones conectadas a la red son las que mayor aporte eléctrico proporcionan, del orden de megavatios. Hay dos formas de conectarse a la red:

- Empresa productora o parque eólico: directamente se realiza la conexión a la red eléctrica y el propietario es un productor más de electricidad.
- Autoconsumidor: la energía generada se utiliza como autoconsumo y el excedente, si lo hubiera, se suministra a la red.

Estas aplicaciones serán el objeto principal de la presente Guía al suponer el mayor potencial de aplicación de las energías renovables a la gestión del agua.

Las instalaciones aisladas de la red suelen ser realizadas en zonas muy alejadas del trazado de la red general de distribución eléctrica. El tamaño y tipo depende de las necesidades del usuario, y es característico que la instalación se sitúe cerca del centro de consumo. Las instalaciones más frecuentes son las de pequeña potencia, las cuales

emplean tecnologías bastante fiables en las que es necesario un mantenimiento muy básico. Las más comunes son:

- Aerogeneradores: se utilizan para obtener un aprovechamiento eléctrico. Las máquinas utilizadas son aeroturbinas de alta velocidad. La aplicación fundamental es el suministro eléctrico a zonas aisladas de la red eléctrica general.
- Aerobombas: se utilizan para obtener un aprovechamiento mecánico, las máquinas utilizadas son aeroturbinas de baja velocidad. La aplicación fundamental es para extracción de agua.

Existen otras aplicaciones aisladas de red con fines de investigación y para mejorar el aprovechamiento de la energía eólica en islas donde la inyección masiva de este tipo de energía puede generar perturbaciones en la estabilidad eléctrica de los sistemas. Entre estas aplicaciones están las de desalación de agua de mar, bombeos para almacenar agua en forma de energía potencial para su posterior turbinado y, por último transformación en otros vectores energéticos con posibilidad de almacenamiento como el hidrógeno. Desde hace más de 10 años el Instituto Tecnológico de Canarias ha abierto diferentes líneas de investigación aplicada en esta línea, generando diferentes aplicaciones y prototipos que pueden tener aplicación a escala real. Entre las diferentes formas de desalación y bombeo aisladas están las siguientes:

DIFERENTES MÉTODOS DE DESALACIÓN Y BOMBEO DE AGUA CON UN AEROGENERADOR		
MÉTODO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
A. Eje de transmisión con acoplamiento mecánico.	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad • Coste relativamente bajo • Permite cierta flexibilidad en el emplazamiento de los aerogeneradores. • Permite generar electricidad para otras aplicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de que la situación no sea un buen emplazamiento eólico. • Problemas de seguridad del eje de transmisión, cuando las distancias son grandes. • Coste relativamente alto de los componentes del mecanismo de transmisión.
B. Aerogenerador asociado a	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el almacenamiento de 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de energía en tendidos largos.

bombeo y/o desalación con acoplamiento eléctrico.	energía (baterías) <ul style="list-style-type: none"> • Permite el uso de la electricidad para otras aplicaciones. • Rendimiento relativamente alto. • Permite gran flexibilidad en el emplazamiento de los aerogeneradores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste relativamente alto. • Requisitos de seguridad para tendidos eléctricos.
C. Aerogenerador asociado a bombeo y/o desalación con acoplamiento hidráulico.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite mayor flexibilidad en el emplazamiento de los aerogeneradores que el método B. • Se obtiene energía hidráulica o aire comprimido, aplicable a diversos usos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de energía en tuberías largas. • Requisitos de seguridad para fluidos o aire comprimido. • Coste relativamente alto.

En este campo, el Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. ha desarrollado diferentes prototipos con funcionamiento autónomo:

Aerodesa I: Aeromotor de potencia nominal de 15 kW especialmente diseñado para su acoplamiento a una planta de Osmosis Inversa de 10 m³/día, con sistema de acoplamiento mecánico y fluido de control la propia agua de mar.



Aerodesa II: Aeromotor de potencia nominal de 15 kW especialmente diseñado para su acoplamiento a una planta de Osmosis Inversa de dos módulos con una capacidad de 20 m³/día, con sistema de acoplamiento hidráulico que permite una elevada automatización del funcionamiento de la planta.



Aerogedesa: Sistema compuesto por una planta de desalación de Osmosis Inversa con capacidad nominal de 17 m³/día acoplada eléctricamente a un aerogenerador de potencia nominal de 15 kW, sistema electrónico de control (autómata programable) y conjunto de cargas de disipación.



Sdawes: Instalación y prueba de varios sistemas de desalación (ósmosis inversa, electrodiálisis reversible, compresión de vapor y sistema multflash), conectados a un

sistema eólico autónomo para definir el sistema óptimo de desalación de agua de mar a gran escala con el único recurso de la Energía Eólica.



Sistema Eólico-Diesel de Punta Jandía: Diseñado para el suministro de energía, agua, frío y hielo al poblado de pescadores de Punta Jandía, en la Isla de Fuerteventura (Islas Canarias), donde no llega la red eléctrica, utilizando energía eólica con un apoyo diesel. Este proyecto cumple dos finalidades: a nivel general pretende demostrar cómo una fuente energética renovable, no contaminante y autónoma, puede lograr el abastecimiento de una comunidad proporcionándole calidad de vida sin causar impactos negativos sobre el medio ambiente, y a nivel local pretende acotar, al estar limitados sus recursos energéticos y de agua, una expansión turística incontrolada de la zona, inmersa en un espacio natural protegido.



1.3.3 Aspectos medioambientales

Entre los aspectos medioambientales hay que mencionar que con la utilización de la Energía Eólica se evitan las emisiones de toneladas de contaminantes a la atmósfera (CO_2 , NO_x , SO_x , etc.). El impacto medioambiental que puede producir una instalación eólica va a depender fundamentalmente del emplazamiento elegido, del tamaño de la propia instalación y de la distancia de ésta a las zonas de concentración de población, así como de las infraestructuras asociadas: accesos y tendidos eléctricos. Las principales alteraciones del medio pueden ser: impacto sobre las aves, posible impacto visual, impacto acústico.

1.4 *Situación del aprovechamiento de la energía eólica en la UE y en Açores, Madeira y Canarias*

Los archipiélagos atlánticos de Açores, Madeira y Canarias son uno de los lugares del mundo con mejor potencial para el aprovechamiento de la energía del viento debido a la constancia en velocidad y dirección, sobre todo en verano. Durante los últimos años, gracias a los avances tecnológicos y a la iniciativa tanto pública como privada esta energía renovable ha tenido un importante avance.

La Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA) ha hecho público el censo de la eólica en Europa: 28.440 MW instalados en la UE de los 15 al concluir 2003. Suponen una producción de 60 TWh¹ de electricidad al año, el 2,4% del total del consumo eléctrico en la UE; un porcentaje que equivale a las necesidades eléctricas de 14 millones de hogares o de 35 millones de ciudadanos. 5.411 MW fueron añadidos a lo largo del pasado año, un 8% menos que en 2002 (5.913 MW).

¹ 60.000.000.000 kWh

Potencia (MW) instalada en la UE			
	Final 2002	Instalada en 2003	Final 2003
Alemania	11.994	2.645	14.609
España	4.825	1.377	6.202
Dinamarca	2.889	243	3.110
Holanda	693	226	912
Italia	788	116	904
Reino Unido	552	103	649
Suecia	345	54	399
Grecia	297	78	375
Francia	148	91	239
Austria	140	276	415
Portugal	195	107	299
Irlanda	137	49	186
Bélgica	35	33	68
Finlandia	43	8	51
Luxemburgo	17	5	22
TOTAL UE	23.098	5.411	28.440

En los archipiélagos atlánticos de Açores, Madeira y Canarias la situación es la siguiente respecto a la aplicación de la energía eólica:

Potencia eólica instalada en Açores, Madeira y Canarias (MW)	
Açores	5,55
Madeira	5,79
Canarias	127,01

2 OBJETO Y CONTENIDOS DE LA GUÍA

El objeto de la Guía es aportar información básica sobre los pasos a seguir para realizar estudios de viabilidad técnico-económica de instalaciones eólicas asociadas a los sistemas integrados de gestión del agua.

En el documento se exponen los datos y herramientas necesarias para realizar un estudio de viabilidad técnico-económica relativa a las instalaciones de aprovechamiento eólico asociadas a los ciclos del agua.

Se presenta dividido en tres apartados, el primero relativo a la evaluación del potencial eólico, en el segundo se detalla el método para el cálculo de la producción de energía eléctrica de origen eólico optimizando la potencia eólica instalable a las necesidades energéticas del ciclo del agua. Por último se expone cómo realizar el análisis económico de los proyectos y su influencia en el coste del agua. Todo el análisis está ilustrado con la descripción de un caso aplicando las herramientas desarrolladas por el Instituto Tecnológico de Canarias para este tipo de estudios.

3 PRESENTACIÓN DEL CASO

Se parte de una empresa dedicada a la potabilización y gestión de aguas. Esta empresa posee una planta desaladora por Ósmosis Inversa. Los consumos de energía eléctrica en dichas instalaciones son bastante apreciables y hace que el gasto económico en este sentido sea importante. Es conocida la importante participación del gasto en energía eléctrica en el coste final del agua desalada, por ello y con el objeto de disminuir los gastos provenientes del consumo de energía eléctrica y al estar las mencionadas instalaciones ubicadas en un emplazamiento que a priori parecen tener un buen potencial eólico, es de interés por parte de la empresa, el ubicar en los terrenos de su propiedad un parque eólico para abastecimiento de la energía demandada en sus

instalaciones de tal forma que se disminuya el coste del kWh consumido. Por este motivo el la empresa está interesada en analizar la viabilidad técnico-económica del proyecto en cuestión, el cual incluye un estudio de potencial eólico.

4 EVALUACION DEL POTENCIAL EOLICO

4.1 *Generación de la base de datos eólicos*

Para la realización del estudio es necesario definir las fuentes de datos ya existentes como mapas eólicos, estaciones meteorológicas, etc. Normalmente es necesario generar los datos eólicos suficientes como para estimar el potencial eólico de la zona en estudio.

Para esta tarea se siguen las siguientes fases de trabajo:

- ◆ Selección del lugar de ubicación de la estación de medida.
- ◆ Selección de los aparatos de medida
- ◆ Campaña de medida
- ◆ Lectura de datos. Incidencias. Actualización de la base de datos eólica existente.

4.1.1 Selección del lugar de ubicación de la estación de medida

A la hora de definir el punto, dentro del área de estudio, donde ubicar loa estación de medida habrá que considerar los siguientes aspectos:

- ◆ Obstáculos. Es importante que no existan obstáculos que puedan perturbar la libre circulación del aire y que por consiguiente hagan que los datos registrados no sean un fiel reflejo de las características del emplazamiento.
- ◆ Accesos. Éstos deben ser los adecuados para el transporte del material hasta el punto de la instalación.

- ◆ Vandalismo. Generalmente las estaciones de medida se instalan en campo abierto, por lo que podrían sufrir actos vandálicos. Por este motivo, aún cuando se debe considerar el aspecto anterior de los accesos, tampoco es aconsejable, siempre que estén en espacios abiertos, que se encuentren en zonas con paso continuo de personas.

4.1.2 Características de la estación de medida

La estación de medida puede tener diferentes alturas, seleccionando la misma según las características del emplazamiento y/o disponibilidad presupuestaria. Para el caso particular de una estación de 10 metros de altura, se dispondría, como mínimo, de un sensor de velocidad y otro de dirección del viento, anemómetro y veleta respectivamente, que se ubican en una torre con los accesorios adecuados. Los sensores de velocidad y dirección serán los encargados de medir los parámetros fundamentales del viento que serán almacenados en un registrador de datos (data logger). Estos datos se trasladan posteriormente al lugar de trabajo donde son leídos para finalmente proceder a su tratamiento.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de Registrador de Datos:



Un ejemplo de configuración para el periodo de muestreo de adquisición de los datos es el siguiente:

- Periodo de muestreo (valores a 10 m):

Velocidad y dirección: horaria
Desviación típica: horaria
Rachas : diaria

A continuación se muestra una imagen en la cual se visualiza un ejemplo de un fichero de datos extraído del registrador.

```

A=17
Site Name: X
Site Number: 23
Start Time: 14:27 07/19/2000
Finish Time: 14:00 08/22/2000
Total Time: 33 day(s) 23 hour(s) 33 minute(s)

```

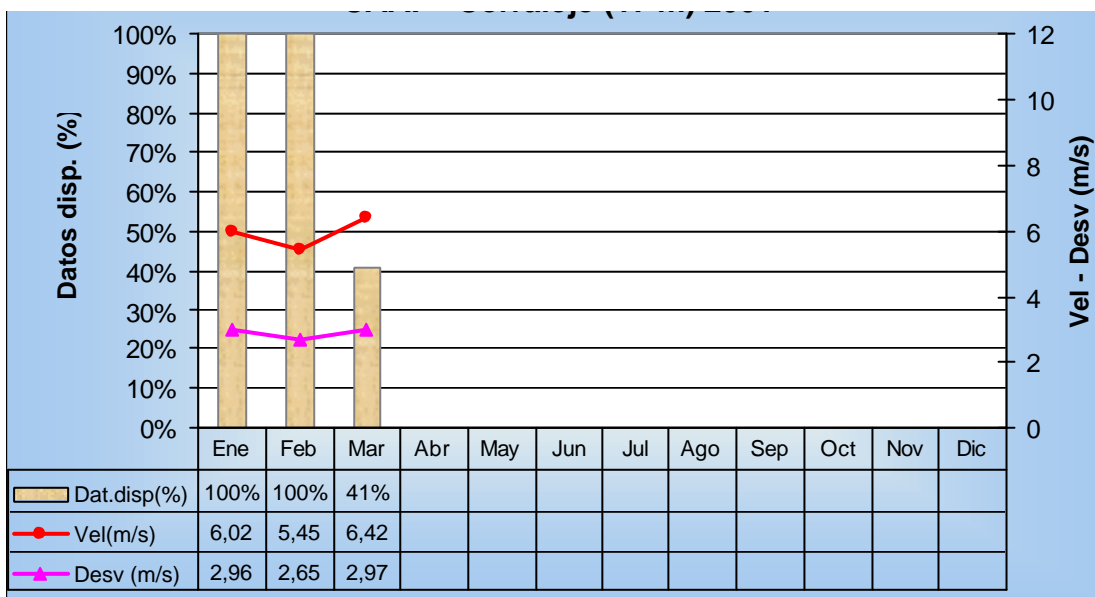
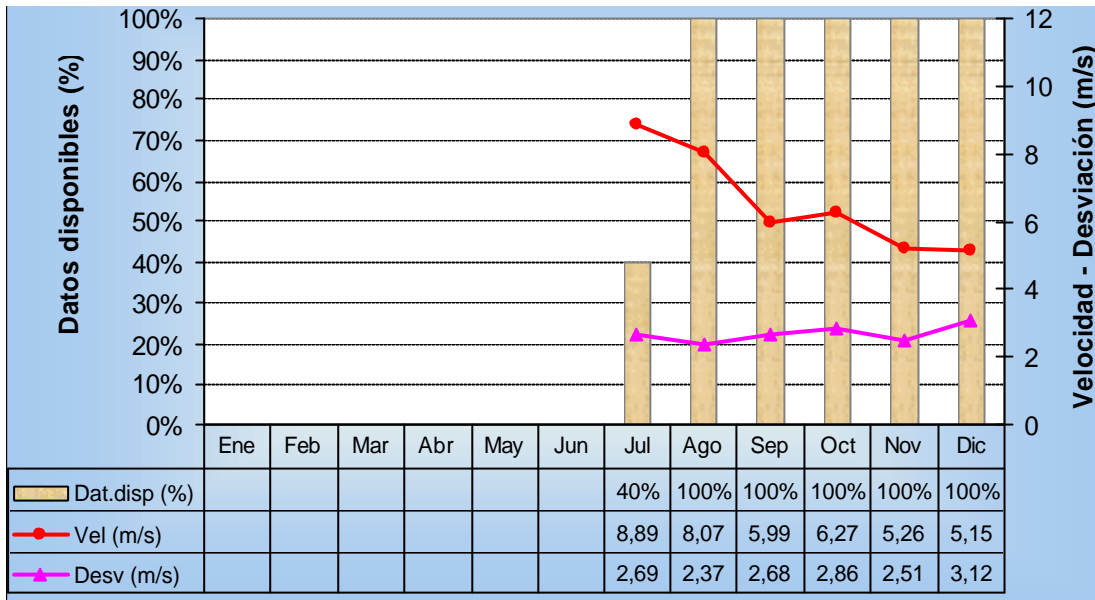
DATE	TIME	Anem A Maximum Average hourly m/s	Anem A Maximum Std Dev hourly m/s	Anem A Maximum Maximum daily m/s	dir	time	Anem A Maximum Minimum daily m/s	dir	time	Vane A Wind Van Average hourly ø	Vane A Wind Van Std Dev hourly ø
Jul 19,2000	14:27	4.4	1.8	14.1	350	18:28	0.5	0	14:49	338.9	13.3
Jul 19,2000	15:00	7.8	2.2							344.5	8.7
Jul 19,2000	16:00	9.9	2.0							344.5	10.1
Jul 19,2000	17:00	10.1	1.9							344.5	9.4
Jul 19,2000	18:00	11.9	0.9							343.1	4.4
Jul 19,2000	19:00	10.8	0.9							347.3	4.3
Jul 19,2000	20:00	9.2	1.3							353.0	5.3
Jul 19,2000	21:00	7.0	1.3							7.0	15.6
Jul 19,2000	22:00	5.6	0.8							47.8	7.9
Jul 19,2000	23:00	4.6	0.7							42.2	23.5
Jul 20,2000	00:00	2.2	1.9	13.4	342	21:41	0.5	65	00:22	54.8	25.5
Jul 20,2000	01:00	4.9	1.4							59.1	5.8
Jul 20,2000	02:00	2.3	1.8							67.5	49.0
Jul 20,2000	03:00	3.1	2.6							295.3	41.8



Estación anemométrica de 10 metros de altura perteneciente al ITC

4.1.3 Resultados campaña de medida.

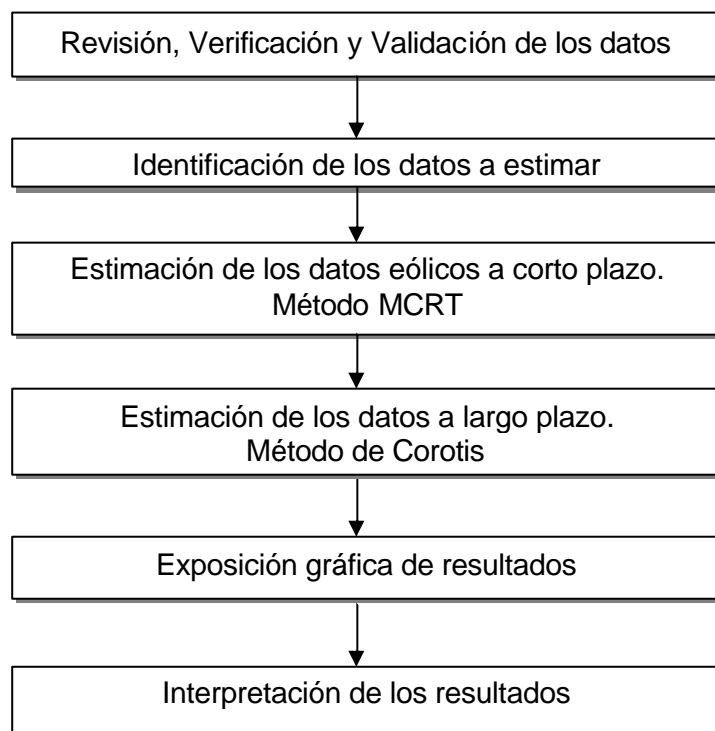
En las siguientes gráficas se representan las velocidades medias y las desviaciones típicas mensuales medidas de un caso, obteniendo 7 meses de datos válidos.



4.2 *Tratamiento estadístico de los datos eólicos*

4.2.1 Metodología

Una vez analizada la base de datos disponible se procede al tratamiento estadístico de datos eólicos para obtener sus valores más significativos. Estos resultados se deben exponer en forma gráfica para su mejor interpretación. A continuación se detalla el procedimiento a seguir en esta fase del proyecto.



4.2.2 Bases teóricas para el tratamiento estadístico de los datos (formulación empleada)

4.2.2.1 *Ley de distribución de frecuencias*

A partir de los diagramas de frecuencias trazados para cada mes se puede tener una visión gráfica del comportamiento del viento alrededor del valor más frecuente.

En el mes sin suficientes datos disponibles, se utiliza para simular la distribución de frecuencias del viento la distribución de Weibull. Esta ley de distribución (densidad de probabilidad) de Weibull se expresa por medio de la relación:

$$f(v, K, C) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^K}$$

siendo los parámetros: K = factor de forma, sin dimensión.
 C = factor de escala en m/s
 v = velocidad del viento

4.2.2.2 Variación del viento con la altura

Los métodos de cálculo son los siguientes:

Formulación para la proyección de perfiles verticales de vientos instantáneos (entre un minuto y una hora)

El modelo utilizado en este caso es el potencial modificado propuesto por Mikhail y Justus. Viene dado por la fórmula:

$$\bar{v}_h = \bar{v}_a \left(\frac{H_h}{H_a}\right)^a$$

α = exponente vertical. Este exponente no depende sólo del emplazamiento, sino también de la dirección del viento, de su velocidad, de la temperatura y por último de la hora del día o de la estación.

\bar{v}_a = velocidad media (m/s) del viento medida a intervalos cortos de tiempo a la altura H_a (en m.)

\bar{v}_h = velocidad media (m/s) del viento obtenida a intervalos cortos de tiempo a la altura H_h (en m.)

El exponente α tiene por valor:

$$a = \frac{1}{\ln\left(\frac{H_g}{H_0}\right)} - \frac{0.0881}{1 - 0.0881 \ln\frac{H_a}{10}} \ln\left(\frac{\bar{v}_a}{6}\right)$$

H_g = altura media geométrica entre las dos alturas a extrapolar $H_g = (H_a \cdot H_h)^{1/2}$

H_0 = longitud de la rugosidad estimada del terreno en metros.

Formulación para la proyección vertical de las velocidades medias de periodos largos (velocidades medias mensuales)

Conociendo la velocidad media \bar{v}_a a nivel del anemómetro Z_a , podemos determinar la velocidad media \bar{v} a nivel de Z por la fórmula:

$$\bar{v}(Z) = \bar{v}_a \left(\frac{Z}{Z_a} \right)^a$$

El valor de α viene dado por:

$$a = \frac{0.37 - 0.08 \text{Ln} \bar{v}_a}{1 - 0.088 \text{Ln} \frac{Z_a}{10}}$$

\bar{v}_a es la velocidad media (de un mes o un año) del viento a la altura Z_a medida en metros

\bar{v} es la velocidad media (de un mes o un año) del viento en m/s a la altura Z en metros

El valor de longitud de rugosidad es imprescindible para el cálculo de los valores de velocidad, rachas de viento y producción eléctrica a la altura del buje de la máquina.

4.2.2.3 Energía del viento

Para un viento de una velocidad instantánea V_i (m/s), que atraviesa una superficie de A (m²), con una densidad ρ (Kg/m³), la potencia instantánea viene determinada por el flujo de energía cinética, es decir:

$$P_i = \frac{1}{2} \rho V_i^2 A V_i = \frac{1}{2} \rho A V_i^3$$

La densidad de potencia será:

$$\frac{P_i}{A} = \frac{1}{2} \rho V_i^3 \quad (\text{W/m}^2)$$

La energía que desarrolla el viento en un intervalo dado de tiempo será:

$$E_{t_1-t_2} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{2} \rho V_i^3 dt$$

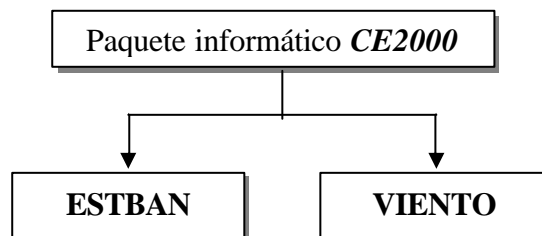
Cuando no se dispone de las velocidades instantáneas del viento, sino solamente se conocen las velocidades medias y las desviaciones típicas, la expresión anterior no es válida para calcular la energía que desarrolla el viento.

Si el viento en ese lugar se distribuye según la ley de Weibull, podemos calcular la media del cubo de la velocidad del viento (momento de tercer orden de la distribución) por la expresión:

$$\langle V^3 \rangle = \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv = c^3 G \left(1 + \frac{3}{K} \right)$$

4.2.3 Programas informáticos empleados en el estudio del potencial eólico

El Instituto Tecnológico de Canarias ha desarrollado en el marco del proyecto “Canarias Eólica 2000”, un paquete de programas informáticos para la gestión de recursos eólicos. Del mencionado paquete informático el ITC dispone para el desarrollo de estos estudios de los siguientes programas:



ESTBAN: Programa de gestión de estaciones anemométricas, en el cual se almacenan datos de interés relativos a cada estación. Entre éstos cabe destacar:

- Nombre del emplazamiento
- Coordenadas geográficas del emplazamiento
- Código de la estación
- Altura/s de la estación
- Nombre del equipo de medida instalado
- Configuración del equipo de medida
- Fecha de instalación de la estación
- Fecha de última recogida de datos
- Tiempo restante para próxima recogida de datos

VIENTO: Programa para la evaluación del potencial eólico de un emplazamiento determinado. El programa permite extraer datos en modo gráfico tales como:

- Velocidades medias para un intervalo de tiempo
- Distribuciones de velocidades. Ajuste de Weibull
- Distribuciones de direcciones. Rosa de vientos
- Densidad de potencia media del viento (W/m²)
- Densidad de energía del viento (kWh/m²)
- Estimación de velocidades medias (método MCRT). Cálculo de correlaciones interestacionales.

4.2.4 Tablas y gráficos

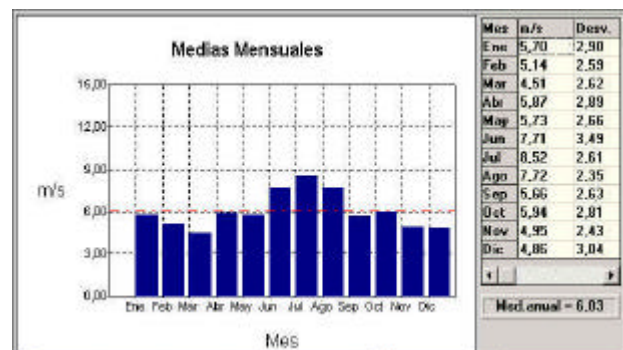
Mediante el uso del *software CE2000*, se puede evaluar con precisión el comportamiento y características del viento encontrado en la zona. Mediante la aplicación del software informático “**VIENTO**” es posible representar los valores almacenados en la base de datos.

4.2.4.1 Gráficos representativos de la velocidad del viento

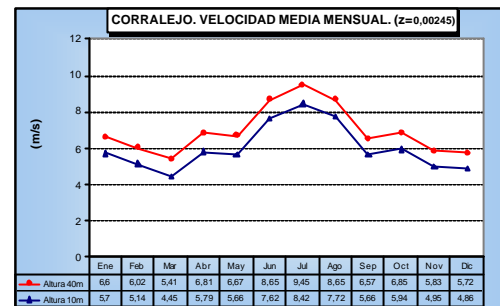
Los gráficos pertenecientes a este grupo muestran el comportamiento de un factor tan importante del viento, como es su velocidad. Con estos gráficos se podrá determinar el potencial real del viento, así como la variación del mismo en el tiempo.

- Variación de la velocidad media mensual en un año

Se representa la variación de la velocidad mensualmente, junto a la media anual, de modo que se observen las fluctuaciones del viento para cada mes: $V_{med} = 6,03 \text{ m/s}$ (10 m).

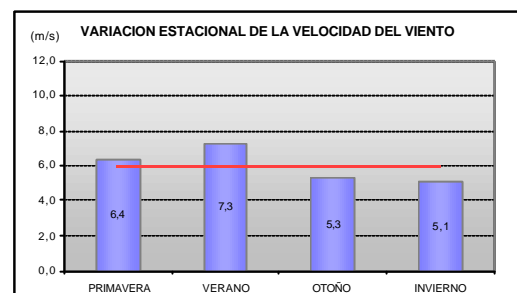


También se grafica la velocidad media mensual para distintas alturas, de modo que se compruebe su variación en función de este parámetro (distribución espacial de la velocidad del viento).



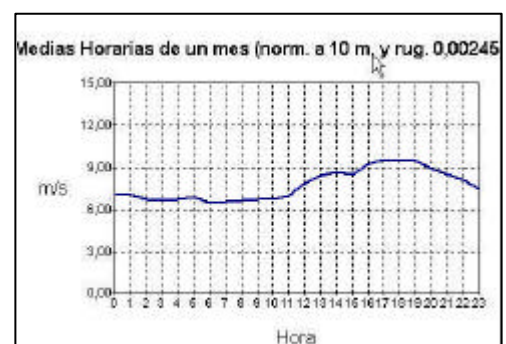
□ Variación estacional de la velocidad media

Se compara la variación de la velocidad en cada estación del año con la velocidad media anual, reflejando la influencia de las estaciones en el comportamiento de la velocidad media del viento.



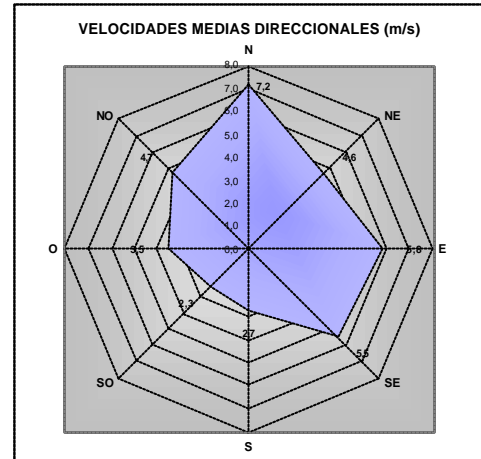
□ Variación de la velocidad media horaria estacional

De manera similar se representa para cada estación la velocidad media del viento a lo largo del día, comprobándose así el comportamiento horario del viento.



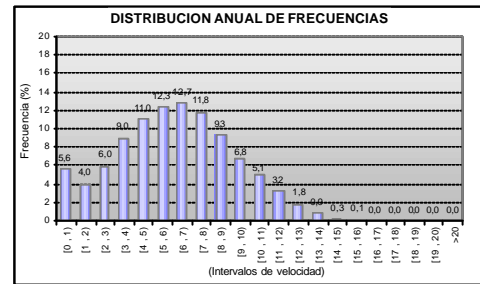
□ Velocidad media direccional

Se determina con su estudio la velocidad media en cada dirección del viento, analizándose así si existen velocidades medias altas en alguna dirección no predominante, para su aprovechamiento. Se detecta también de este modo, la posible presencia de variaciones en la rugosidad del terreno para determinadas direcciones.



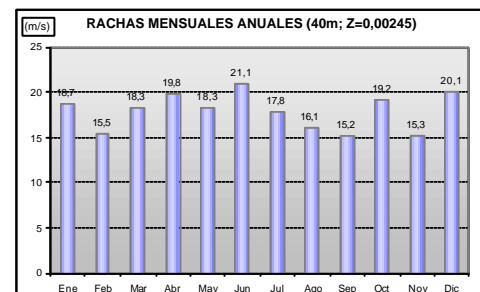
□ Distribución de frecuencias de velocidades (anual y estacional)

Permite establecer el/los rango/s de velocidades más frecuentes en el emplazamiento en estudio. Se analiza este parámetro anual y estacionalmente. Es de interés a la hora de seleccionar el aerogenerador que mejor se ajuste a las condiciones eólicas de la zona.



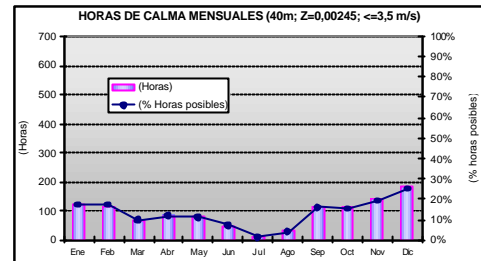
□ Rachas de viento

Valores de velocidad máximos recogidos en el periodo de estudio.



□ Calmas de viento

Representa el porcentaje de horas, dentro de un periodo determinado, en el que la velocidad del viento se encuentra por debajo de un umbral establecida.

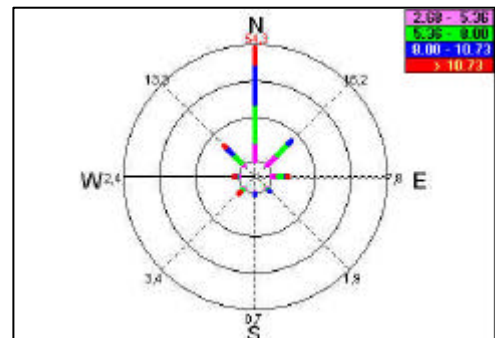


4.2.4.2 Gráficos representativos de la dirección del viento

Estos gráficos analizan la variación de la dirección del viento con el tiempo. El parámetro dirección es fundamental a la hora de orientar y posicionar las máquinas sobre el terreno.

□ Rosa de los vientos

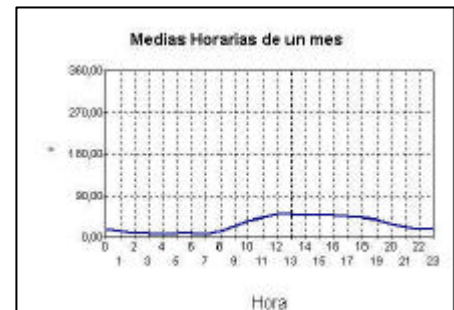
Este gráfico refleja la distribución porcentual de la dirección del viento. Permite conocer la frecuencia direccional del viento y su intensidad.



□ Dirección media horaria

Refleja el comportamiento de la dirección media del viento para cada hora del día.

Para el análisis estacional, tanto de este parámetro como del resto, se estudiará un mes representativo de cada estación.

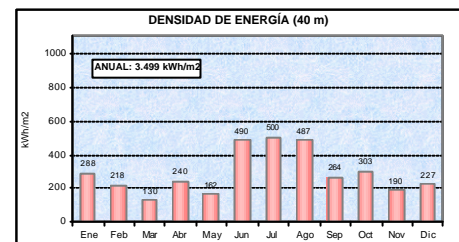


4.2.4.3 Gráficos representativos de la energía del viento

Reflejan la energía contenida en el viento susceptible de ser aprovechada.

□ Densidad de energía mensual en un año

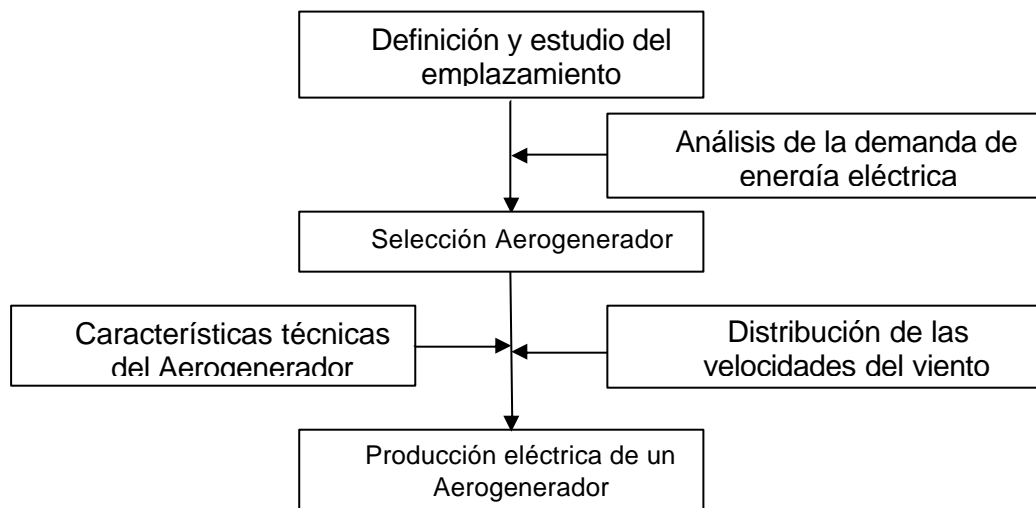
Representa la variación mensual de la densidad de energía eólica (kWh/m²) durante un año



5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ORIGEN EÓLICO. OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA EÓLICA INSTALABLE

5.1 Metodología

En este punto se mostrará el procedimiento a seguir para evaluar la energía eléctrica de origen eólico obtenible en un emplazamiento determinado.



5.2 Bases teóricas para el cálculo de la energía eléctrica

Para el cálculo de la energía generada por un aerogenerador se necesita principalmente la siguiente información:

- ❑ Distribución de frecuencia de velocidades de viento del emplazamiento.
- ❑ Curva de potencia del aerogenerador.
- ❑ Datos sobre la orografía de la zona así como de los obstáculos artificiales presentes en la misma.

A partir de esta información podría aplicarse la siguiente metodología de cálculo:

Para conocer la potencia eléctrica media (en un intervalo de tiempo determinado) que puede generar un aerogenerador de curva característica $P(v)$, situado en un régimen determinado de vientos, basta con utilizar la distribución de velocidad $f(v)$ de dicho periodo.

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} P(v) \cdot f(v) dv$$

En el mes en el que no se disponen de suficientes datos, la elección se basará en el método de distribución de Weibull, que es el más frecuentemente empleado, de donde:

$$\bar{P} = \left(\frac{K}{C}\right) \int_0^{\infty} P(v) \cdot \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^K\right] dv$$

Hay que señalar que la curva $P(v)$ de un aerogenerador se compone de dos partes:

- La primera parte está constituida por la recta, relacionando la velocidad de arranque a la velocidad nominal (v_a-v_n) (máquina con control de paso)
- La segunda parte está constituida por la línea relacionando la velocidad nominal a la de parada (v_n-v_p) (parte lineal y horizontal).

Para un estudio completo se deben estudiar las dos rectas, es decir, la curva a partir de la velocidad de arranque hasta la velocidad de desconexión (parada), v_a-v_p .

$$P(v) = \frac{P_{i+1} - P_i}{v_{i+1} - v_i} (v - v_i) + P_i$$

Basta con remplazar en la expresión de Weibull anterior el valor de $P(v)$ por su nuevo valor:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^{N-1} \int_{v_i}^{v_{i+1}} \left[\frac{K}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^K} \right] \left[\frac{P_{i+1} - P_i}{v_{i+1} - v_i} (v - v_i) + P_i \right] dv$$

A partir de esta potencia media se obtiene la energía multiplicando la misma por el periodo de cálculo.

La energía así obtenida se ponderará mediante un coeficiente con el cual se tendrán en cuenta las paradas de la máquina por operación y mantenimiento, fallos en la red de distribución, etc. El valor de este coeficiente, al cual se conoce con el nombre de factor de fiabilidad es estimativo, adoptándose generalmente para proyectos en las Islas Canarias un valor entre 0,9 y 0,98. Eligiendo el factor de fiabilidad ϵ_f para la máquina, se podrá obtener la energía generada por una máquina eólica en un periodo de tiempo determinado.

5.2.1 Energía eléctrica obtenida de un parque eólico

El cálculo aplicado a un grupo de aerogeneradores que conforman un parque eólico y que presenta una distribución en el terreno específica, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\bar{E}_T = \left\{ \sum_{i=1}^{i=NA_{dif}} \sum_{j=1}^{j=NG_{dif}} [NG_j \bar{E}_j \phi_{extji}] \right\} [\epsilon_f]$$

\bar{E}_T = Energía eléctrica total producida por el parque eólico

NA_{dif} = Número de superficies diferentes que integran el parque eólico y que pueden estar representadas por una estación meteorológica situada en el mismo.

NG_{dif} = Número de aerogeneradores de clase j.

\bar{E}_j = Energía producida por un aerogenerador de clase j. $\bar{E}_j = \bar{P}_j \cdot t$ (t = año, estación, mes, etc.)

ϵ_f = Porcentaje de fiabilidad de los aerogeneradores. Consideramos 90% para todas las máquinas.

ϕ_{extji} = Factor de corrección de los efectos de interferencia de turbinas tipo j en la superficie i.

5.3 Aplicación del método a un caso tipo

5.3.1 Análisis de la demanda eléctrica

El caso tipo se refiere a una la planta desaladora que tiene una capacidad de producción de 3.600 m³/día y una potencia total instalada de 900kW con un consumo medio anual, extraído de dos años de consumo, de 7.164,9 MWh/año y una potencia media de 800 kW tal y como se muestra en la tabla siguiente:

CONSUMO PROMEDIO POTENCIA INSTALADA 900 KW		
	ENERGÍA CONSUMIDA (KWH)	POTENCIA MEDIA (KW)
ENE	604.710	813
FEB	576.446	775
MA	591.320	795
AB	576.446	775
MA	599.502	806
JUN	593.552	798
JU	593.561	798
AG	615.748	828
SEP	616.492	829
OC	564.172	758
NO	622.137	836
DIC	610.846	821
TOTA	7.164.934	803

5.4 Selección de los aerogeneradores

Es necesario efectuar el análisis de diferentes marcas de aerogeneradores seleccionados a partir de una serie de criterios, cada uno de los cuales intervienen en mayor o menor medida en la selección de las máquinas definitivas. Algunos de los criterios que han de considerarse para la selección de las tecnologías son los siguientes:

- Grado de presencia de la tecnología en el mercado

- Fiabilidad de las máquinas de dicha tecnología
- Garantía del mantenimiento: recursos técnicos y humanos disponibles para la realización de las operaciones de mantenimiento (disponibilidad)
- Experiencia en los parques eólicos locales y nacionales
- Energía máxima producible en régimen de autoconsumidor

Una vez seleccionadas las marcas de aerogeneradores se debe elegir el rango de potencias a estudiar. En este sentido se han de considerar otros aspectos adicionales, tales como:

- Evolución tecnológica
- Optimización del área útil disponible
- Logística en el transporte e instalación
- Demanda energética en el punto de consumo

Atendiendo a estos factores adicionales se ha seleccionado, para este caso, el rango de potencias entre 600 – 850 kW.

Finalmente, atendiendo a los criterios anteriores, los modelos que se analizarán definitivamente en este estudio tipo son²:

- ECOTECNIA E44/640kW
- ENERCON E44/600kW
- GAMESA G47/660kW
- MADE AE46/660kW
- MEG-MICON NM48/750kW
- MADE AE52/800kW

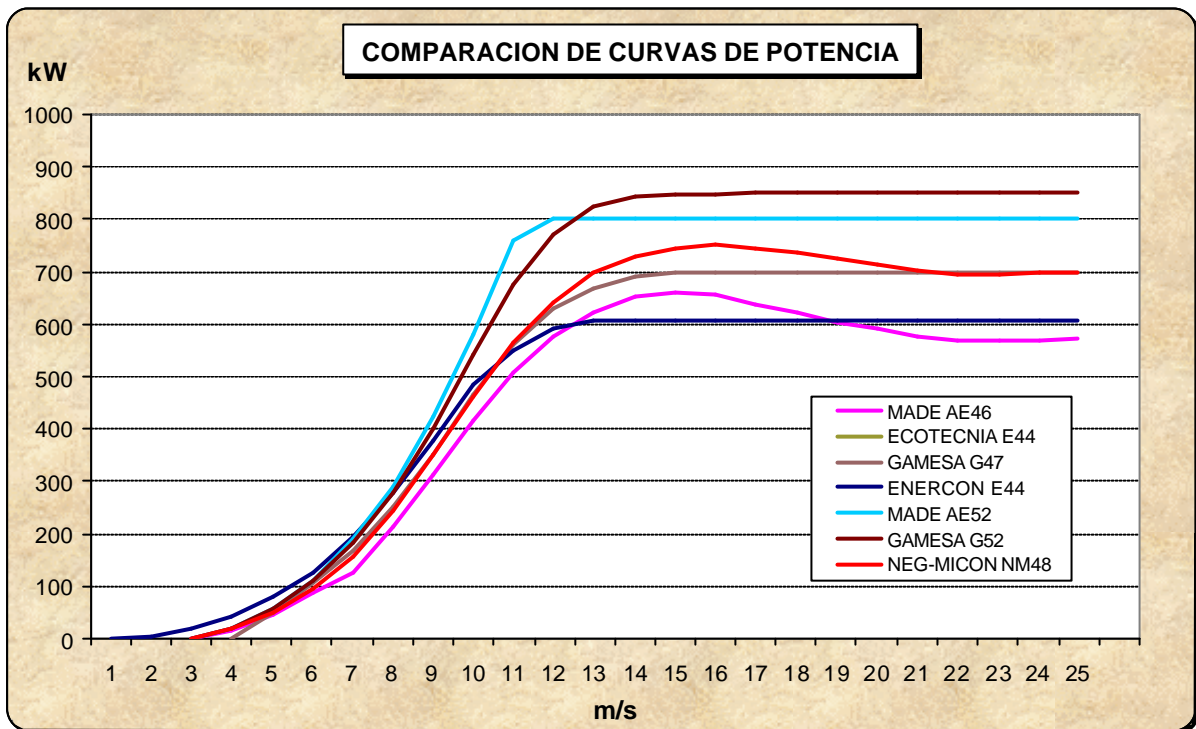
² Este es un listado meramente orientativo utilizado para el estudio de este caso tipo, que no excluye la posibilidad de utilización de otras marcas o modelos disponibles en el mercado.

□ GAMESA G52/850Kw

Las características básicas de los modelos de aerogeneradores seleccionados se resumen en la tabla siguiente:

Máquina	Modelo	Potencia (kW)	Altura buje (m)	Diámetro rotor (m)	Generador	Velocidad (m/s) arranque / nominal
ECOTECNIA	E44	640	37	44	Asíncrono	4 / 13
ENERCON	E44	600	46	44	Síncrono	2 / 12,5
GAMESA EÓLICA	G47	660	40	47	Asíncrono	4 / 12,5
MADE	AE46	660	45	46	Asíncrono	4 / 15
NEG-MICON	NM48	750	45	48	Asíncrono	4 / 14
MADE	AE52	800	45	52	Síncrono	3,5 / 12
GAMESA EÓLICA	G52	850	45	52	Asíncrono	4 / 15

La curva de potencia de las máquinas seleccionadas se presenta en la siguiente gráfica.



5.5 *Parámetros energéticos a analizar en el estudio comparativo entre aerogeneradores*

□ **Factor de capacidad**

Es la relación entre la energía real producida por un parque eólico y la máxima producible en un periodo de tiempo considerado.

$$\text{Factor de Capacidad} = \frac{\text{Energía producida en un periodo de tiempo}}{\text{Energía máxima producible en dicho periodo}}$$

□ **Horas equivalentes**

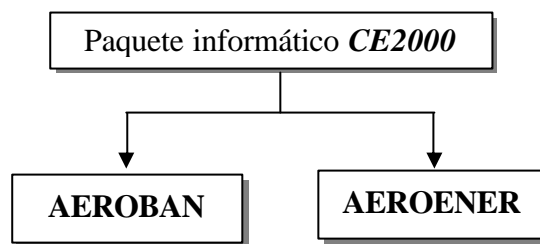
Número de horas que un aerogenerador tendría que haber estado funcionando a la potencia nominal para producir la misma cantidad de energía en el periodo de tiempo considerado (factor de capacidad expresado en horas).

$$\text{Horas Equivalentes} = \frac{\text{Energía Producida en el Periodo}}{\text{Potencia Nominal Maquina}}$$

Como se observa ambos parámetros son independientes de la potencia nominal del aerogenerador por lo que pueden ser utilizados como parámetros comparativos en el análisis del grado de adaptabilidad de cada uno de los aerogeneradores a las condiciones eólicas del emplazamiento.

5.6 Programas informáticos empleados en el estudio energético

El Instituto Tecnológico de Canarias ha desarrollado en el marco del proyecto “Canarias Eólica 2000”, un paquete de programas informáticos para la gestión de recursos eólicos. Del mencionado paquete informático están disponibles para este tipo de estudios los siguientes programas:



AEROBAN: Base de datos de aerogeneradores. En él se dispone de información detallada de diferentes tipos de aerogeneradores. De esta información el campo que más importancia tiene es la **curva de potencia**, pues permitirá a otro de los programas del paquete CE2000, *AeroEner*, realizar los cálculos energéticos a partir de un aerogenerador especificado. Asimismo, *AeroEner* también usa el dato de altura de la torre para realizar sus cálculos.

El programa permite extraer datos tales como:

- MARCA, MODELO, PAIS, AÑO, ETC.
- AERODINÁMICA: pala (número, perfil, etc.), rotor (diámetro, velocidad, etc.)
- MECÁNICA: sistemas (cambio de paso, orientación, etc.), torre, caja multiplicadora, góndola.
- SISTEMAS ELÉCTRICOS: generador, protección.
- OPERACIÓN: curva de potencia, velocidad y potencia de arranque y parada, etc.
- COSTOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.

AEROENER: Programa para el cálculo de energía. Con esta aplicación se podrán obtener los resultados de energía producida por una máquina determinada, a partir de los datos suministrados por el resto de aplicaciones. A parte de la energía mensual o anual acumulada, se podrá obtener la potencia media horaria, diaria y mensual.

5.7 *Resultados obtenidos*

Del análisis energético del caso tipo se obtienen la distribución mensual de energía producida, horas equivalentes y factor de capacidad para cada aerogenerador, así como el total anual.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados:

Máquina	Producción (MWh)	Horas Equivalentes	Factor Capacidad
ECOTECNIA E44	1.411	2.204	0,25
ENERCON E44	1.777	2.961	0,34
GAMESA EÓLICA G47	1.827	2.768	0,32
MADE AE46	1.672	2.533	0,29
NEG-MICON MN750/48	1.893	2.523	0,29
MADE AE52	2.297	2.871	0,33
GAMESA EÓLICA G52	2.203	2.592	0,30

5.8 Optimización de la potencia eólica instalable

La potencia máxima instalable del parque eólico en régimen de autoconsumo está vinculada a la demanda de energía eléctrica. Para el caso particular de Canarias, la legislación establece, para los casos de parques eólicos en régimen de autoconsumo, que la producción máxima del parque, en balance anual, no puede superar el doble de la demanda. En otras regiones habría que aplicar los condicionantes específicos si existieran.

Según el análisis de la demanda eléctrica del caso tipo, el consumo anual será aproximadamente de 7.165 MWh. Considerando la producción de cada máquina, mostradas en la tabla anterior, se determina, en cada caso, el número máximo posible de éstas a instalar y la potencia eólica máxima instalable.

Energía máxima producible (MWh) = 14.330

(Doble del consumo anual de la instalación. Requisito energético impuesto a las instalaciones eólicas en régimen de autoconsumo en Canarias).

Atendiendo a este parámetro energético y considerando en el emplazamiento un N° de horas equivalentes igual al promedio de los obtenidos para las diferentes máquinas en estudio, la potencia máxima instalable vendrá dada por:

Potencia eólica máxima = 14.330 / 2.636 = 5,43 MW

La potencia máxima posible a instalar estará también limitada por la capacidad de la línea de evacuación perteneciente a la red de distribución eléctrica, disponibilidad de espacios, presupuestos, aspectos ambientales. Estos aspectos no se han considerado en los cálculos anteriores.

6 ANALISIS ECONÓMICO

6.1 *Datos de partida del caso tipo*

a) **Inversión.**

Para el estudio económico y la hora de evaluar el presupuesto estimado del proyecto se ha supuesto un coste medio del kW eólico instalado igual a 900 €

b) **Ingresos.**

Para la estimación de la energía producida por el parque eólico se ha considerado un N° de horas equivalentes igual al valor medio de los obtenidos para cada una de los modelos de aerogeneradores estudiados. De esta manera se obtienen **2.636 Horas**

Las fuentes de ingresos son principalmente 2: Por un lado la correspondiente a la venta del excedente de energía y por otro el debido al ahorro obtenido en la energía autoconsumida.

La primera de las fuentes de ingreso se ha estimado con un precio de venta de la energía igual a **0,062 €/kWh**, mientras que el ahorro se ha estimado tomando como base el coste medio de la energía que tiene la desaladora y que es aproximadamente de **0,057 €/kWh**.³

El grado de autoconsumo de la planta, entendiéndose por tal, el porcentaje de energía con respecto a la total generada por el parque que consume directamente la planta, se ha supuesto variable dependiendo de la potencia que se instale en el parque, variando desde un 100% cuando la potencia eólica instalada sea inferior a 900kW, potencia total de la

³ Precios dados para el caso de España en 2004. Para otros emplazamientos es necesario actualizar los datos.

desaladora una vez ampliada, hasta un 50% cuando la potencia eólica instalada sea igual a 5.430kW, máxima instalable en régimen de autogenerador.⁴

c) Gastos.

Los gastos que se han considerado en el estudio son los siguientes:

- ❖ Costes de Explotación = 0,01 €/kWh
- ❖ Amortización Contable = 20 años
- ❖ Inflación Anual = 2%
- ❖ Impuesto de Sociedades: 35%

6.2 *Resultados obtenidos para caso tipo*

Los resultados del estudio económico dependerán del valor que adopten una serie de variables que se consideran críticas en el proyecto. En el punto siguiente se analiza la sensibilidad del rendimiento económico del proyecto a dichas variables.

6.2.1 **Análisis de la Sensibilidad Económica del Proyecto**

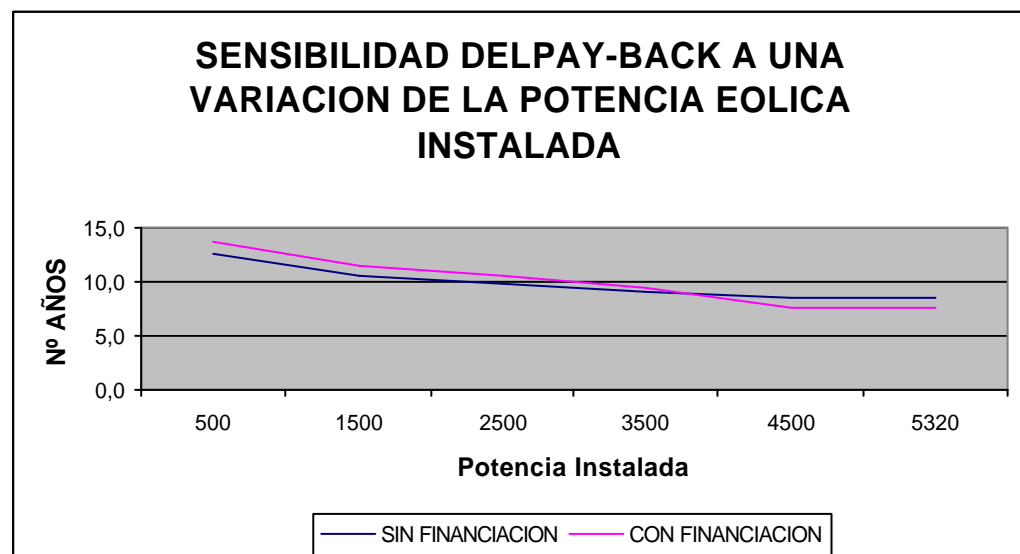
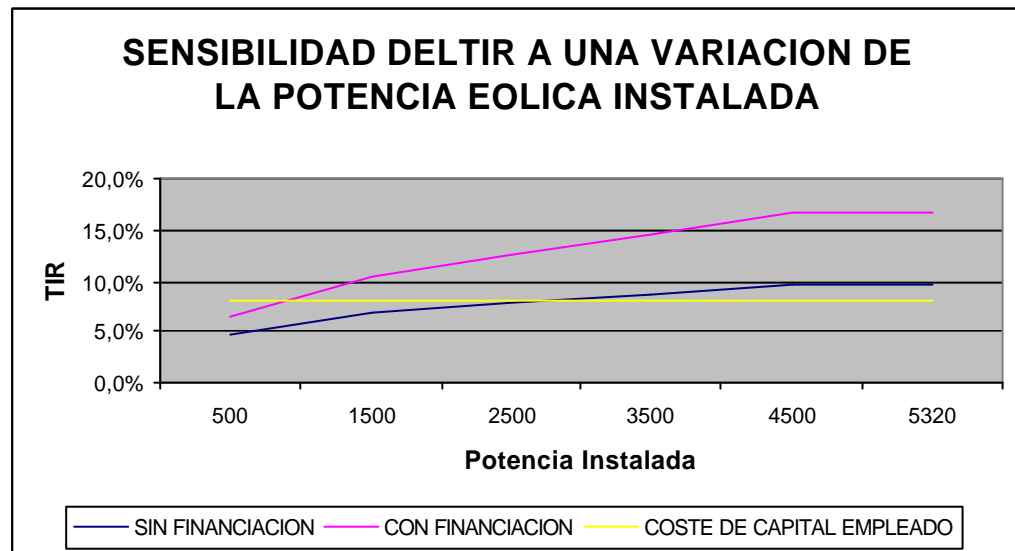
A continuación se estudiará la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto, en este caso de los parámetros financieros TIR y PAY-BACK, a una variación de los siguientes parámetros:

- ❖ Potencia Eólica Instalada
- ❖ Nº Horas Equivalentes.
- ❖ Variación del Coste de la Energía

⁴ Según normativa aplicada en Canarias.

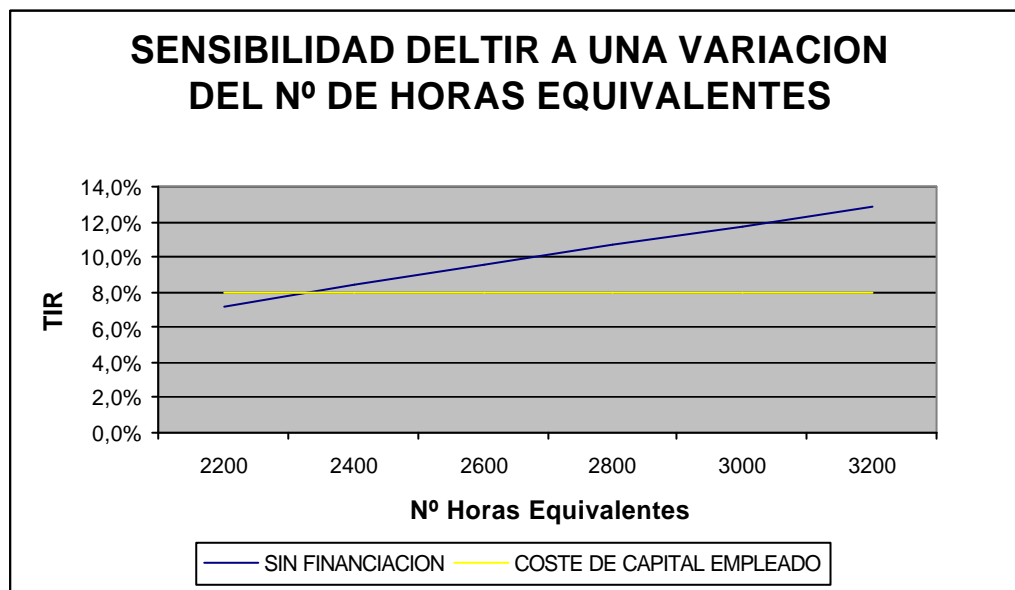
6.2.1.1 Sensibilidad del TIR y PAY-BACK a una variación de la Potencia Eólica Instalada.

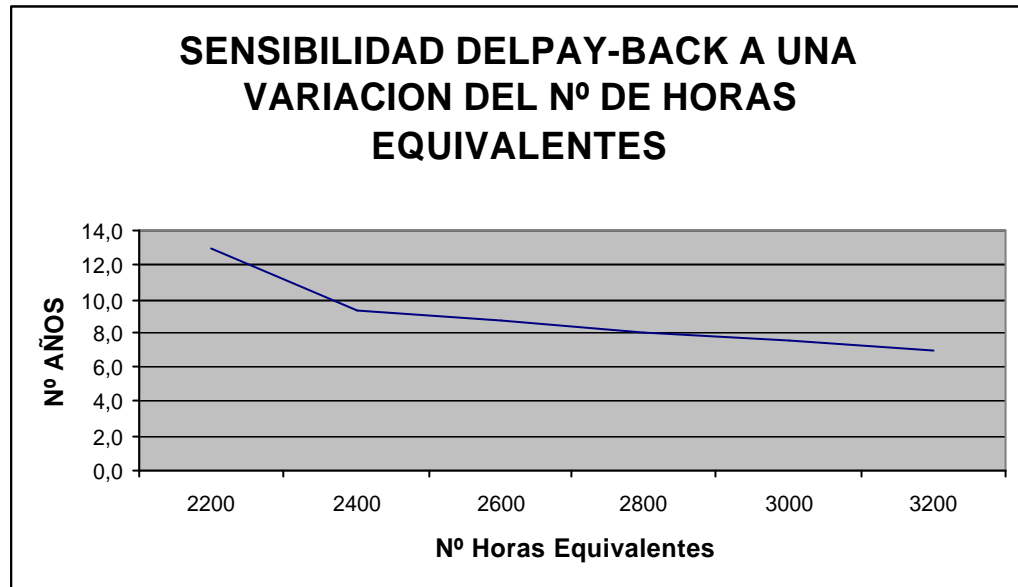
Se ha analizado la sensibilidad de los parámetros financieros a una variación de la potencia eólica final instalada. Los cálculos se han efectuado para el N° de horas equivalentes medio de 2.636.



6.2.1.2 Sensibilidad del TIR y PAY-BACK al N° de Horas Equivalentes

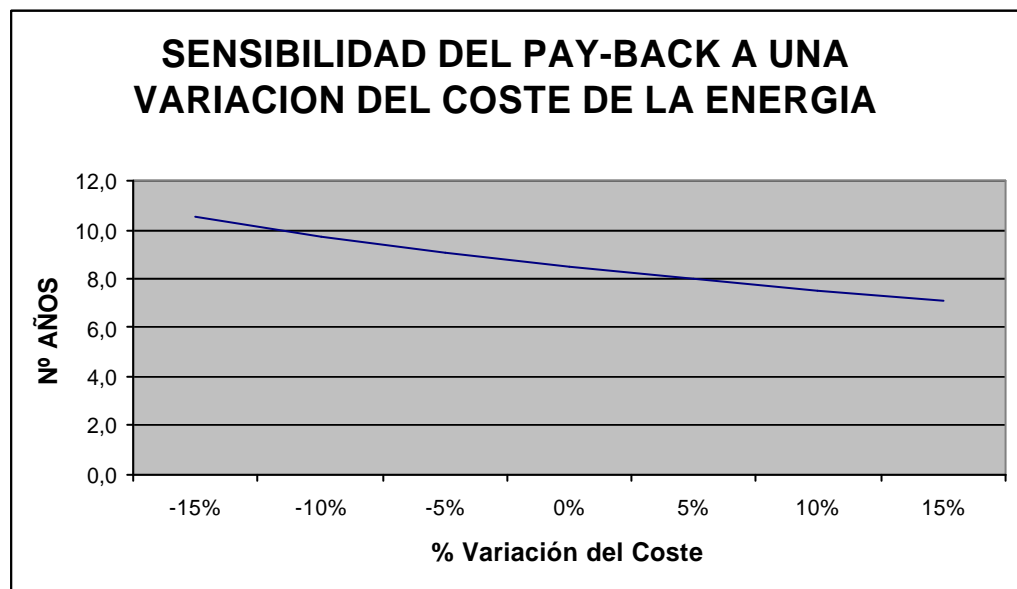
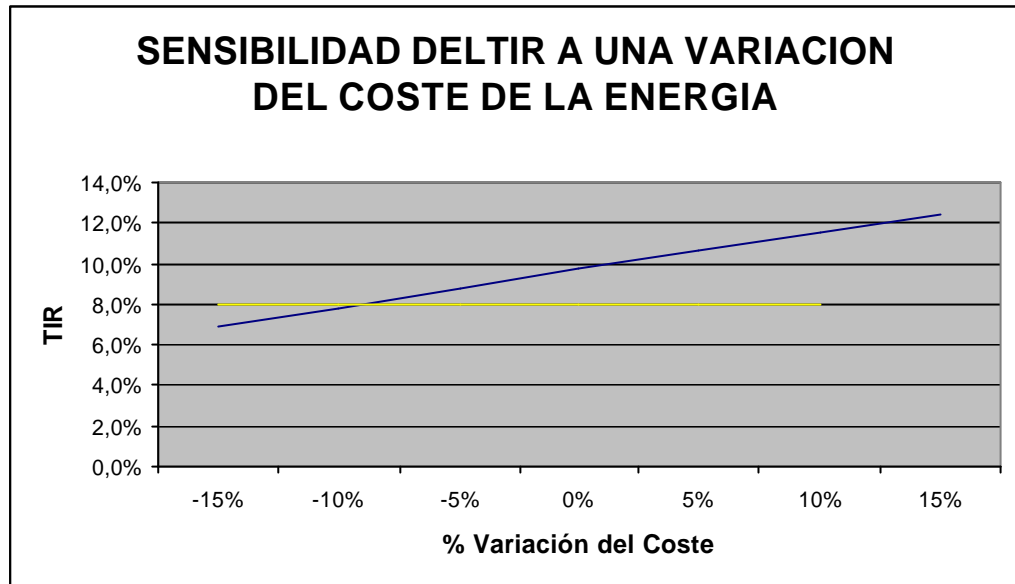
El n° de horas equivalentes medio se ha estimado a partir del resultado obtenido con diferentes tecnologías y con los datos eólicos históricos estimados. Por ello se ha considerado de interés el analizar la sensibilidad de los parámetros financieros a la variación del n° de horas equivalentes que podría existir por variaciones de las condiciones eólicas del emplazamiento entre diferentes años o por la diferente adaptación de las distintas tecnologías al emplazamiento en cuestión. Los cálculos se han efectuado para una potencia eólica instalada igual a la máxima posible de 5.430kW y sin considerar financiación exterior.





6.2.1.3 Sensibilidad del TIR y PAY-BACK a una variación del coste de la energía eléctrica.

Las constantes variaciones del coste de las fuentes de energía convencionales (Petróleo, Gas, etc...) hace que el coste de obtención de energía eléctrica, sujeto a estas variaciones, fluctúe constantemente. Por ello, se ha considerado de interés el analizar la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto a dichas fluctuaciones. Los cálculos se han efectuado considerando una potencia eólica instalada de 5.430kW, un nº de horas equivalentes de 2.636 y sin tener en cuenta ningún tipo de financiación exterior.



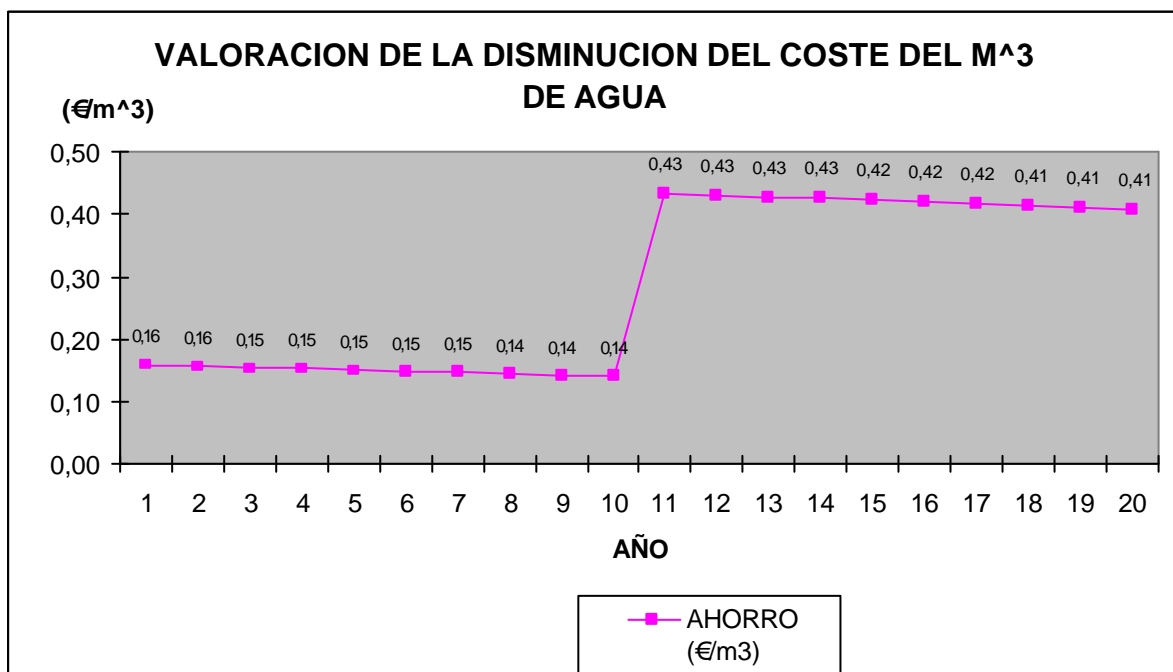
6.3 Valoración de la disminución del coste del m³ de agua desalada.

Una vez estudiada la rentabilidad económica del proyecto, en este punto se analizará la repercusión de ésta en el coste de producción del agua. Para ello se ha partido del siguiente escenario:

- ❖ Potencia Eólica Instalada: 5.430kW
- ❖ Tipo de financiación: 30-70

Se ha supuesto que existe financiación por terceros del 70% de la inversión ya que se considera que es el caso más realista.

A continuación se expone un gráfico que refleja **la disminución del coste del m³ de agua desalada** en los años de explotación del parque eólico.



En el gráfico anterior se observa que en los primeros años de explotación del parque eólico se consigue disminuir el coste del m^3 de agua desalada **entre los 0,16 € del primer año hasta los 0,14 del año 10**. Esta disminución del ahorro entre el año 1 y el 10 es debido a que en los cálculos económicos se ha tenido en cuenta la inflación en los costes de producción no así en los precios de venta/compra de la energía, que se han mantenido constantes durante los 20 años de explotación del parque.

A partir del año 10, una vez amortizado el capital financiado, se aprecia que la disminución del coste del agua desalada aumenta hasta alcanzar en el **año 11 los 0,43 €**, cantidad ésta que va disminuyendo, por el mismo motivo anterior, hasta alcanzar un ahorro **de 0,41 €/m³ en el año 20**.