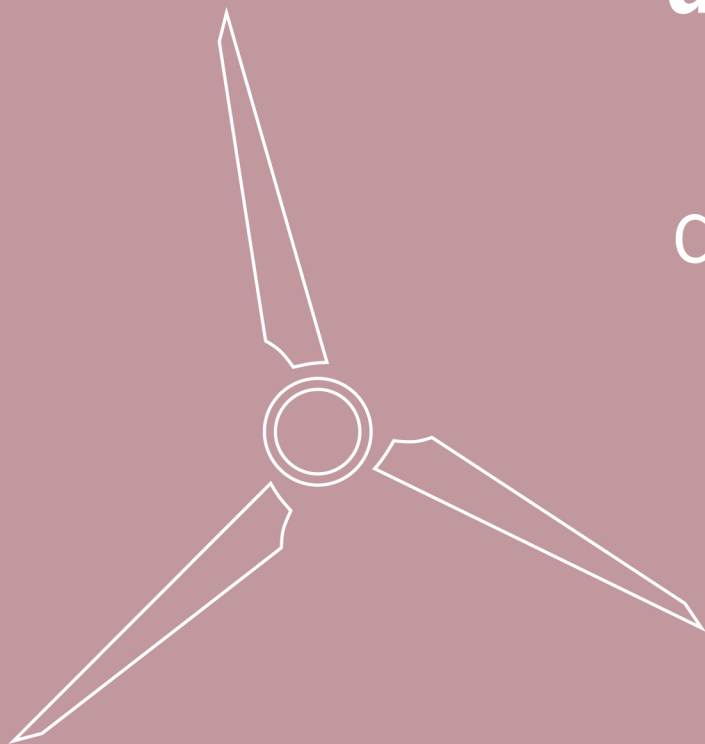


# 10 años de Sotavento

informe  
de experiencia



10 AÑOS DE SOTAVENTO, INFORME DE EXPERIENCIA

Idea y realización  
SOTAVENTO GALICIA S.A.

Diseño, maquetación  
LÚDICA 7 SL

## I PRÓLOGO

## I CAPÍTULO 1

## PARQUE EÓLICO EXPERIMENTAL SOTAVENTO / 9

- 1.1 ANTECEDENTES / 11
- 1.2 OBJETIVOS SOCIALES / 11
- 1.3 LA FUNDACIÓN SOTAVENTO GALICIA / 12
  - 1.3.1 JUSTIFICACIÓN DE SU CREACIÓN / 12
- 1.4 SOCIOS / 13
- 1.5 UBICACIÓN / 14
- 1.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES / 15
- 1.7 CARACTERÍSTICAS DIFERENCIADORAS / 16
  - 1.7.1 PARQUE ESCAPARATE TECNOLÓGICO / 19
  - 1.7.2 CENTRO DE DIVULGACIÓN Y DEBATE / 20
  - 1.7.3 CENTRO DE FORMACIÓN / 21

## I CAPÍTULO 2

## EXPERIENCIA DE UNA DÉCADA DE EXPLOTACIÓN EÓLICA / 25

- 2.1 PROLOGO / 27
- 2.2 ANTECEDENTES / 27
- 2.3 INFRAESTRUCTURAS DEL PARQUE / 28
  - 2.3.1 AEROGENERADORES / 28
  - 2.3.2 TORRES ANEMOMÉTRICAS / 32
  - 2.3.3 INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DE ENERGÍA / 33
- 2.4 PLAN DE EXPLOTACIÓN Y TRAYECTORIA EN UNA DÉCADA / 39
  - 2.4.1 OBJETIVO / 39
  - 2.4.2 PUESTA EN MARCHA DEL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 40
  - 2.4.3 OPERACIÓN Y GESTIÓN DE LAS PRINCIPALES INFRAESTRUCTURAS DEL PARQUE / 41
  - 2.4.4 MANTENIMIENTO DE LAS PRINCIPALES INFRAESTRUCTURAS DEL PARQUE / 42
- 2.5 CONCLUSIONES DE UNA DÉCADA DE EXPLOTACIÓN / 45
  - 2.5.1 RECURSO EÓLICO / 45
  - 2.5.2 AEROGENERADORES. COMPORTAMIENTO EN GENERACIÓN DE ENERGÍA / 50
  - 2.5.3 AEROGENERADORES. EXPERIENCIA EN MANTENIMIENTO / 61
  - 2.5.4 CONCLUSIONES / 66
- 2.6 CONTINGENCIAS EN UNA DÉCADA DE EXPLOTACIÓN / 68
  - 2.6.1 CONTINGENCIAS EN AEROGENERADORES / 68
  - 2.6.2 CONTINGENCIAS EN TORRES ANEMOMÉTRICAS / 74
  - 2.6.3 CONTINGENCIAS EN INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DE ENERGÍA / 75
- 2.7 ADECUACIÓN TÉCNICA DE LAS INSTALACIONES DEL PARQUE A LA NORMATIVA / 76
  - 2.7.1 PROGRAMA DE VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL AL PARQUE EÓLICO / 78

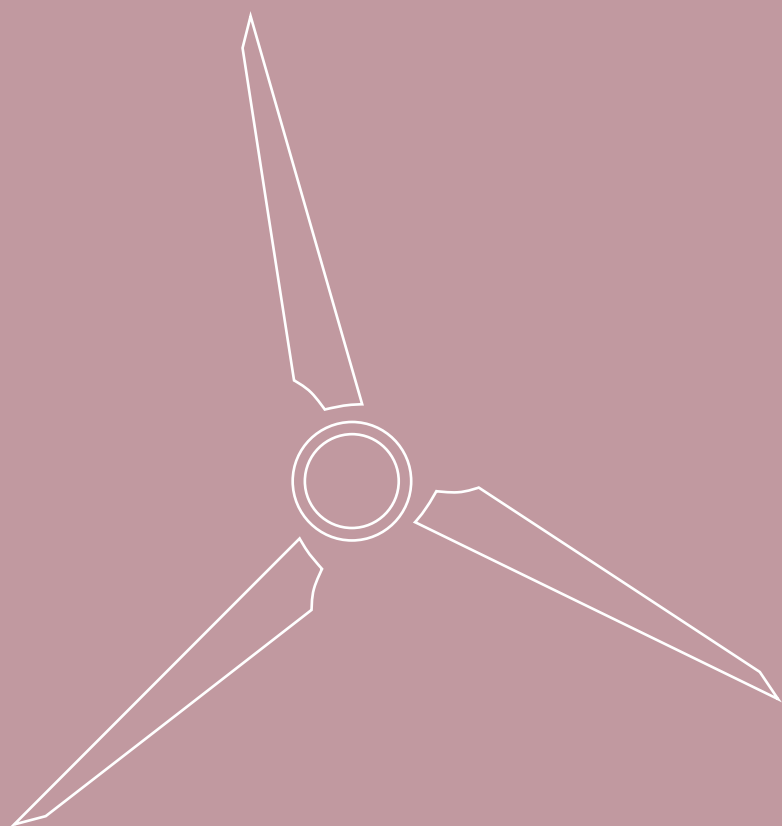


<b>I CAPÍTULO 3</b>	<b>EXPERIENCIA DE UNA DÉCADA DE DIVULGACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES, AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA / 81</b>
3.1	PRÓLOGO / 83
3.2	ANTECEDENTES / 84
3.3	PLAN EDUCATIVO-DIVULGATIVO / 84
3.3.1	INTRODUCCIÓN / 84
3.3.2	OBJETIVOS / 85
3.3.3	METODOLOGÍA / 86
3.3.4	RECURSOS / 88
3.3.5	INFRAESTRUCTURAS DIVULGATIVAS / 89
3.4	PLAN DIVULGATIVO Y TRAYECTORIA DE UNA DÉCADA / 93
3.4.1	CREACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO / 93
3.4.2	OTROS MATERIALES DIDÁCTICOS / 96
3.4.3	EVENTOS / 96
3.4.4	ACTIVIDADES FORMATIVAS / 97
3.4.5	RESULTADOS / 97
3.5	CONCLUSIONES / 99
<b>I CAPÍTULO 4</b>	<b>PROYECTOS DESARROLLADOS EN SOTAVENTO / 101</b>
4.1	INTRODUCCIÓN / 103
4.2	MONITORIZACIÓN INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA / 103
4.3	MONITORIZACIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS FOTOVOLTAICAS / 104
4.4	VIVIENDA BIOCLIMÁTICA DEMOSTRATIVA / 107
4.5	SISTEMA DE GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA EN FORMA DE HIDROGENO / 109
4.6	ANEMOS / 113
4.7	INSTALACIÓN DE MODELOS DE PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN EL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 115
4.8	EFFECTOS OROGRÁFICOS Y DE ESTELAS EN EL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 117
4.9	SUPERVISIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 119
4.10	SISTEMA CENTRALIZADO DE MEDICIÓN DE ENERGÍA EN LOS AEROGENERADORES DEL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 120
4.11	COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN EÓLICA DE SOTAVENTO / 122
4.12	OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO. EFIVENTO / 126
4.13	MEJORA DE LA RED DE COMUNICACIONES DEL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 129
4.14	SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA EN EL PARQUE EÓLICO SOTAVENTO / 130
4.15	LUBRICANTES ATÓXICOS, BIODEGRADABLES Y DE ORIGEN RENOVABLE PARA AEROGENERADORES / 134

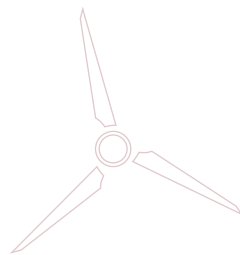
	4.16	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA DEMOSTRATIVA / 136
<b>I CAPÍTULO 5</b>		DATOS ECONÓMICOS / 141
	5.1	GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL PARQUE / 143
	5.2	SISTEMA RETRIBUTIVO EN LA ENERGÍA EÓLICA / 145
	5.3	CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DE EXPLOTACIÓN / 146
	5.4	INVERSIÓN Y FINANCIACIÓN / 148
<b>I CAPÍTULO 6</b>		PUBLICACIONES TÉCNICAS / 151







Parque Eólico  
Experimental  
Sotavento





## 1.1 | Antecedentes

SOTAVENTO GALICIA S.A. (SOTAVENTO) se constituye en Santiago de Compostela el 28 de julio de 1997. Su creación es promovida desde la Xunta de Galicia en una acción que coordina la iniciativa pública y privada.

El proyecto tenía en ese momento un carácter muy novedoso en España, desarrollándose en una comunidad pionera en apostar e implementar energías renovables (Galicia), especialmente en el caso de la energía eólica. El planteamiento era crear un parque eólico que fuese representativo de las distintas tecnologías eólicas implantadas en Galicia, con la finalidad de poder testarlas y que además fuese económicamente viable.

En este contexto, en el año 2001 SOTAVENTO GALICIA S.A. funda el Parque Eólico Experimental Sotavento. Los objetivos que se procuraban con su creación eran:

- ▶ Ser un parque “Escaparate” de las tecnologías eólicas presentes en Galicia
- ▶ El ser un centro de referencia para la realización de actividades de I+D+i+d relacionadas con las energías renovables
- ▶ Ser un centro para la formación y el debate energético
- ▶ Convertirse en un centro de divulgación de las energías renovables

## 1.2 | Objetivos sociales

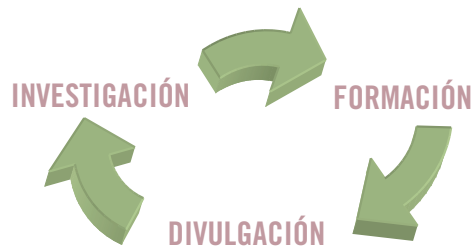
En cumplimiento de su objeto social, Sotavento Galicia S.A. se marca los siguientes fines:

- ▶ Promover, diseñar, construir, operar, explotar, gestionar y administrar centrales que utilicen energía primaria de origen renovable, así como realizar las actividades relacionadas con el funcionamiento y explotación de las mismas
- ▶ Promoción y realización de proyectos, estudios y otras actuaciones de investigación y experimentación relacionadas con las energías renovables, el ahorro y la eficiencia energética
- ▶ Contribuir al progreso de las tecnologías de producción y aprovechamiento de la energía mediante la investigación y el desarrollo
- ▶ Efectuar actividades de I+D+i relacionadas con el ámbito de las energías renovables, el ahorro y la eficiencia energética, apoyándolas e incentivándolas, inclusive mediante la prestación de servicios tecnológicos
- ▶ La promoción, formación, fomento y debate de todos los aspectos relacionados con las energías renovables, el ahorro y la eficiencia energética
- ▶ Incrementar el grado de penetración de las energías renovables en el sistema energético mediante la generación de herramientas y servicios necesarios para solventar la problemática asociada



- ▶ Promover, divulgar y fomentar actuaciones que vinculen el desarrollo energético con su interacción con el medio ambiente y con un desarrollo sostenible
- ▶ Cualquier otro tipo de actuación que implique la implantación u optimización de energías, fomento del ahorro o de la eficiencia energética

Estas actividades, sobre las que SOTAVENTO cimienta sus objetivos, se encuadran en tres ámbitos diferenciados e interconectados:



### 1.3 | La Fundación Sotavento Galicia

La Fundación Sotavento Galicia se crea el 11 de mayo del 2005 como fundación de interés gallego, siendo promovida por SOTAVENTO GALICIA S.A. en virtud de patrono fundador único.

#### 1.3.1 | Justificación de su creación

Como continuación y desarrollo del proyecto, SOTAVENTO GALICIA S.A. establece esta fundación con el objetivo de efectuar una diferenciación de las actividades realizadas en el parque en dos bloques principales:

- ▶ Actuaciones comerciales propias de la explotación de un parque eólico (desarrolladas por SOTAVENTO GALICIA S.A.)
- ▶ Actividades de I+D+i, formación y divulgación (elaboradas por la Fundación Sotavento Galicia)

## 1.4 | Socios

SOTAVENTO GALICIA S.A. está participado mayoritariamente por dos entidades públicas: Instituto Energético de Galicia (INEGA) y por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) y tres empresas privadas sector eléctrico de Galicia: Enel Green Power España S.L., Iberdrola Renovables Galicia S.A. y Energía de Galicia S.A. (ENGASA). En la Figura 1 se muestra la composición del accionariado de SOTAVENTO GALICIA S.A.

### Sotavento Galicia accionistas

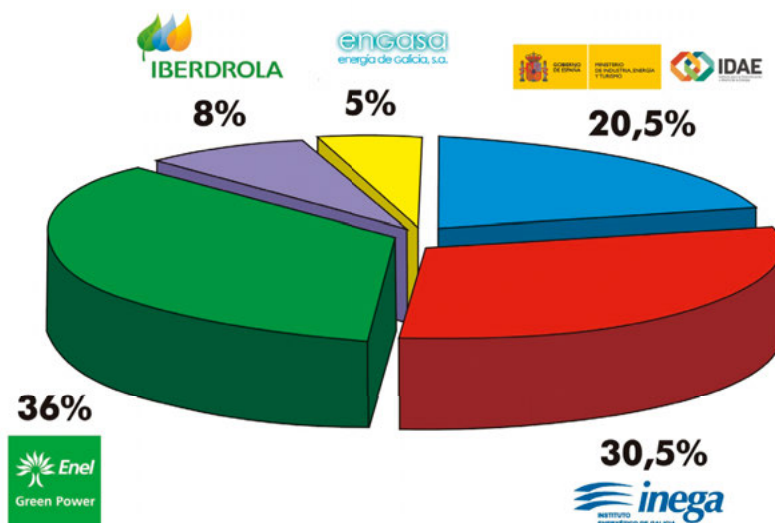
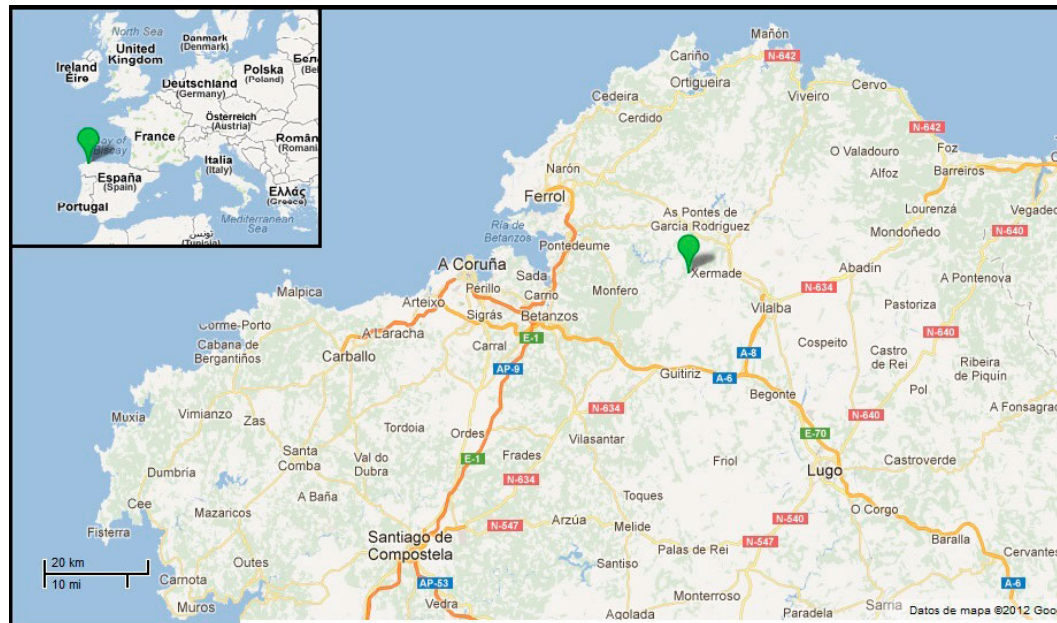


Figura 1  
Accionistas de SOTAVENTO  
GALICIA S.A.

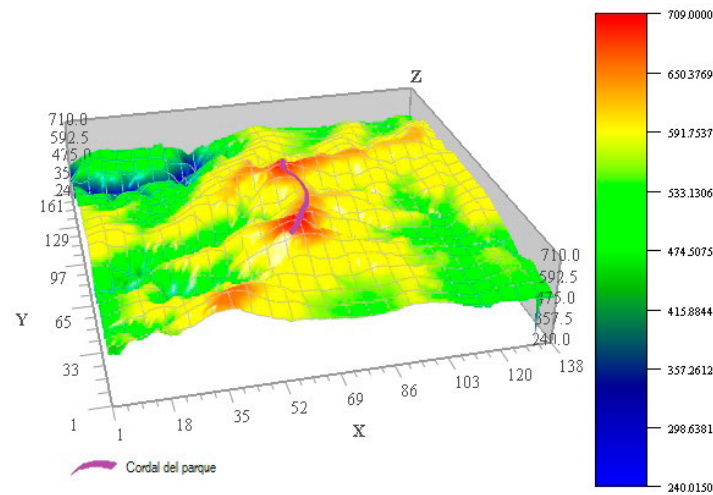
## 1.5 Ubicación

El Parque Eólico Experimental Sotavento está localizado al Noroeste de Galicia, aproximadamente a unos 40 km de A Coruña (Figura 2). Concretamente, el parque se ubica en la Serra da Loba, en el límite de los términos municipales de Monfero (A Coruña) y Xermade (Lugo), en los lugares conocidos como Serrón do Lobo y Serra do Candieiro, siguiendo la línea de las cumbres principales de la zona con una orientación predominante Norte-Sur (Figura 3).



**Figura 2**  
 Ubicación del Parque Eólico Experimental Sotavento

La topografía de la zona y alrededores puede ser descrita como un terreno levemente amesetado, con colinas ligeramente onduladas y acusados valles fluviales. Las posiciones de los aerogeneradores oscilan en un rango de alturas variable desde los 623 m hasta los 698 m sobre el nivel del mar.



**Figura 3**  
Perspectiva tridimensional de la topografía del entorno del parque

## 1.6 Características generales

El parque eólico consta de 24 aerogeneradores dispuestos en una única línea, con una potencia total instalada de 17,56 MW.

En la poligonal del parque se ubican, entre otras, las instalaciones propias de un parque eólico: torres anemométricas, edificio de control y subestación.

La superficie total ocupada por el parque está en torno a las 40 ha, con una longitud aproximada de 4 km y una distribución Norte-Sur. Una parte de las fincas utilizadas están ocupadas a través de acuerdos de arrendamiento con los titulares, habiéndose adquirido las restantes por la propia empresa.

Desde el punto de vista de la generación y del recurso eólico, algunos de los datos que parametrizan el comportamiento del Parque Eólico Experimental Sotavento durante el período 2001-2011 son los siguientes:

- La velocidad media del viento, en los emplazamientos de referencia, ha sido de 5,72 m/s en la torre AN12 y 6,42 m/s en la torre AN06
- El número medio de horas equivalentes de generación del parque desde su puesta en marcha ha sido de 1.870 horas/año, para un valor medio del factor de capacidad de 21,3 %
- El precio medio de venta de energía ha sido de 75,40 €/MW

## 1.7 Características diferenciadoras

En la parcela del parque se distribuyen además de las instalaciones de generación, un edificio multifuncional, una planta de generación y almacenamiento de energía en forma de hidrógeno, una vivienda bioclimática demostrativa, varias instalaciones solares y diversas estructuras con una finalidad lúdico-divulgativa. Todas estas infraestructuras le confieren un carácter diferenciador respecto de un parque eólico estándar; brevemente, se describen a continuación cada una de ellas:

### EDIFICIO MULTIFUNCIONAL

Es uno de los elementos más representativo de SOTAVENTO, posee una forma en planta similar a la del rotor de un aerogenerador con sus tres palas. Este edificio dota al parque de gran parte de las instalaciones necesarias para desarrollar las actividades de investigación, divulgación y formación. Los principales espacios que lo conforman son:

- ▶ Sala de control
- ▶ Taller
- ▶ Mirador
- ▶ Sala de eficiencia
- ▶ Aula divulgativa
- ▶ Auditorio



**Figura 4**  
Vista aérea edificio multifuncional del parque



## PLANTA DE GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA EN FORMA DE HIDRÓGENO

Esta instalación surgió en base a un proyecto iniciado en el año 2005 y desarrollado entre la Consellería de Economía e Industria de la Xunta de Galicia, Gas Natural Fenosa y la Fundación Sotavento Galicia. El objetivo era efectuar una experiencia piloto de una planta que emplea hidrógeno para almacenamiento de energía eléctrica de procedencia eólica, a escala y en operación real.



**Figura 5**  
Planta de generación y  
acumulación de energía en  
forma de hidrógeno

## VIVIENDA BIOCLIMÁTICA DEMOSTRATIVA

El edificio, inaugurado en junio de 2010, ha surgido por el desarrollo de un proyecto que tenía la pretensión de ilustrar, en el ámbito del sector residencial, la incidencia de la eficiencia energética, del bioclimatismo, la bioconstrucción y las soluciones energéticas renovables como mecanismos de ahorro. La vivienda, entre otras, implementa las siguientes estrategias:

**Medidas pasivas:** Parasoles, galería, sistema de cerramientos y vidrios de baja conductividad térmica, elementos de protección solar en ventanas y muros trombe.

**Medidas activas:** Instalación solar térmica, caldera de biomasa, bomba de calor geotérmica, emisores de baja temperatura (suelo radiante), instalación solar fotovoltaica, y un pequeño aerogenerador.



**Figura 6**  
Vivienda bioclimática  
demostrativa

### INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

En el Parque Eólico Experimental Sotavento existe a modo demostrativo cinco instalaciones fotovoltaicas, con una configuración que permite efectuar estudios comparativos relativos a la generación de energía entre las mismas.



**Figura 7**  
Instalaciones fotovoltaicas  
del Parque Eólico  
Experimental Sotavento

### 1.7.1 | Parque Eólico escaparate tecnológico

Las características diferenciadoras del parque crean un marco idóneo para el análisis comparativo, así como para el desarrollo de proyectos de I+D+i+d. Estas cualidades le convierten en un “escaparate tecnológico-demostrativo”, con un notable carácter divulgativo-formativo.

#### TECNOLOGÍAS EÓLICAS PRESENTES

En el Parque Eólico Experimental Sotavento se han instalado nueve modelos distintos de aerogeneradores, que en el momento de su puesta en marcha (año 2000) representaban en gran medida el mercado eólico gallego. Las máquinas pertenecían a los principales fabricantes nacionales e internacionales: Ecotécnia, Gamesa, Made, Neg Micon y Bonus. Destacar que tres de estas máquinas eran prototipos cuando fueron instaladas (Tabla 1).

El número de unidades, fabricante y modelo de aerogeneradores presentes es el indicado en la siguiente tabla:

FABRICANTE	MODELO	Nº AEROS EN EL PARQUE
MADE	MADE AE-46/I 600kW	4
GAMESA EÓLICA	G47 660 kW	4
BONUS	BONUS 600 kW	4
ECOTECNIA	ECOTECNIA 44 640 kW	4
NEG MICON	NG 48 750 kW	4
BONUS	BONUS 1,3 MW [*]	1
MADE	MADE AE-52 800kW [*]	1
MADE	MADE AE-61 1,3 MW [*]	1
NEG MICON	NG 52 900 kW	1

[\*] Aerogeneradores prototipo

**Tabla 1**  
Fabricante, modelo y número de aerogeneradores presentes en el parque

#### CENTRO DE REALIZACIÓN DE PROYECTO DE I+D+i

Entre los objetivos del Parque Eólico Experimental Sotavento, como ya se ha comentado, se encuentran:

- Promoción y realización de proyectos de investigación
- Experimentación y demostración en el ámbito de las energías renovables, del ahorro y de la eficiencia energética

En esta línea, en el parque se han venido desarrollando distintos proyectos durante esta primera década; permitiendo promocionar y optimizar el uso de fuentes de energía renovables. A lo largo del presente informe se realizará una exposición de los más relevantes (ver capítulo 4).



Durante esta primera década los organismos, universidades y empresas más significativas que han colaborado con el Parque Eólico Sotavento en el desarrollo de proyectos han sido:

- ▶ Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE)
- ▶ Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
- ▶ Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CENER)
- ▶ Universidad de A Coruña (UDC)
- ▶ Universidad de Vigo (UDV)
- ▶ Universidad de Santiago de Compostela (USC)
- ▶ Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
- ▶ Red Eléctrica Española (REE)
- ▶ Indra Sistemas S.A.
- ▶ Gas Natural SDG, S.A.
- ▶ Verkol S.A.

### **CENTRO DE PRESENTACIÓN Y PRUEBA DE EQUIPOS**

Las instalaciones del parque eólico se han utilizado también para la presentación técnica y para la realización de pruebas de diversos equipos relacionados con el sector eólico. Algunas de las actuaciones más relevantes han sido:

- ▶ Demostración de distintas plataformas para actuaciones en palas de aerogeneradores
- ▶ Presentación de equipos de análisis y detección de huecos de tensión
- ▶ Prueba de descensores automáticos de góndola
- ▶ Prueba de elementos de ayuda a la ascensión en aerogeneradores
- ▶ Prueba de plataformas elevadoras autoportantes de gran altura
- ▶ Prueba de analizadores de redes eléctricas
- ▶ Ensayo práctico de reguladores de energía reactiva
- ▶ Ensayo práctico de junta rotativa sin cableado

### **1.7.2 | Centro de divulgación y debate**

En el Parque Eólico Experimental Sotavento se viene desarrollando desde el año 2002 una intensa actividad en el área divulgativa, situándose la media de visitantes durante esta primera década en torno a las 20.000 personas anuales. Esta cifra podría ser incluso superior, si el modelo no se centrara en prestar una actividad de calidad y personalizada, y solo buscara resultados cuantitativos. Los objetivos como centro de divulgación y debate pueden resumirse en:

- ▶ Convertir al parque en un centro de referencia atractivo para la población en campo de las energías

- ▶ Sensibilizar a los visitantes de un uso razonable de la energía
- ▶ Crear capacidad crítica y de análisis acerca de aspectos del ámbito energético: agotamiento de recursos, medio ambiente, sostenibilidad, etc.
- ▶ Posibilitar el conocimiento y las implicaciones de las novedades a nivel de normativa en el sector energético y de la edificación

### **PLAN DIVULGATIVO**

El plan divulgativo, de elaboración propia, pretende acercar al público en general el ámbito energético desde una perspectiva objetiva y contextualizada, con la finalidad de estimular y concienciar del empleo racional de la energía.

Para un mayor detalle acerca de la experiencia de divulgación de energías renovables, ahorro y eficiencia energética en estos primeros diez años, consúltese el capítulo tercero.

## **1.7.3 I Centro de formación**

### **INTRODUCCIÓN**

Aprovechando las sinergias de un espacio en el que existe presencia de diversas tecnologías de energías renovables, y en el cual se han desarrollado diferentes proyectos de I+D+i+d, se viene impartiendo formación tanto específica para técnicos del sector como de carácter demostrativo-divulgativo.

### **FORMACIÓN TÉCNICA**

Este apartado resume las actividades técnicas de formación, cursos y seminarios más relevantes efectuadas en el parque desde su puesta en marcha, estructurándose en las siguientes áreas:

#### **Energías Renovables**

- ▶ Cursos de mantenimiento y operación de parques eólicos
- ▶ Cursos de energías renovables para instaladores en solar térmica y fotovoltaica
- ▶ Cursos de formación en aerogeneradores
- ▶ Formación para limpieza de palas de aerogeneradores
- ▶ Seminario H<sub>2</sub> y gestión energética
- ▶ Realización de módulos del Máster de Energías Renovables

#### **Instalaciones Eléctricas**

- ▶ Curso sobre sistemas eléctricos de potencia, transformadores y celdas
- ▶ Curso sobre selectividad entre protecciones eléctricas
- ▶ Cursos específicos:
  - Relés de sincronismo con la red eléctrica
  - Curso de operación de celdas de media tensión

- Curso sobre red direccional de tierra

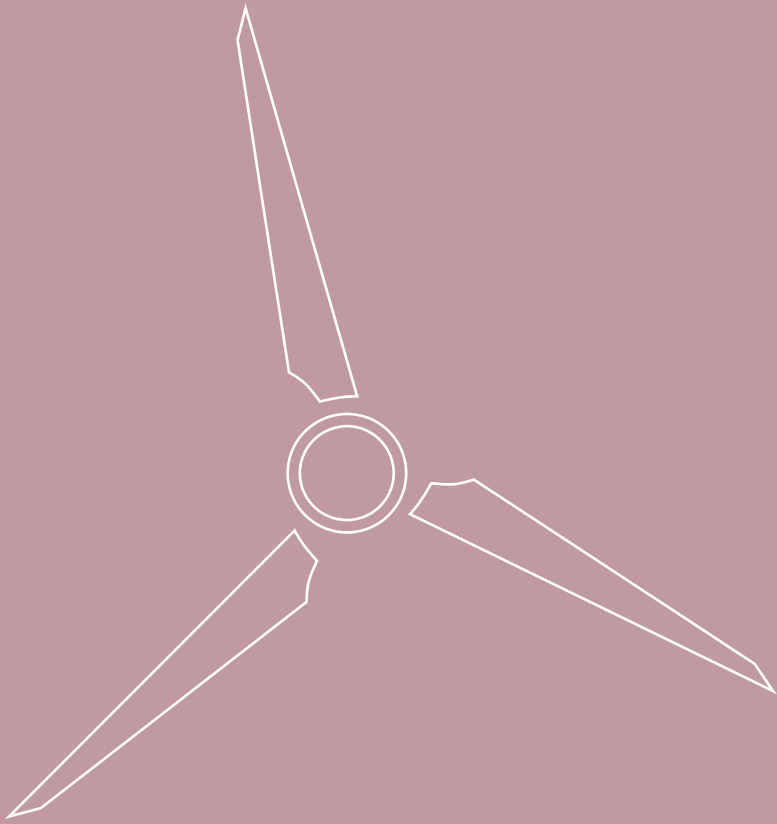
### **Edificación**

- Curso de certificación energética de edificios (aplicación de soluciones técnicas innovadoras)

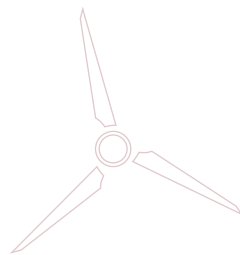
### **Seguridad y salvamento**

- Curso de formación para bomberos y simulación de evacuación de heridos en parques eólicos
- Formación en alturas para personal de mantenimiento
- Empleo de aerogeneradores para impartir cursos de seguridad
- Procedimiento de operación con seguridad en sistemas eléctricos de parques eólicos





Experiencia  
de una década  
de explotación eólica





## 2.1 | Prólogo

La demanda energética crece a unos ritmos cada vez mayores, las fuentes tradicionales de energía (petróleo, carbón, gas, etc.) son limitadas y además están localizadas geográficamente en puntos de gran inestabilidad política. La dependencia que el actual sistema energético tiene de los combustibles fósiles genera problemas ambientales cada vez mayores. Como consecuencia de todas estas circunstancias cada vez hay mayor interés por encontrar nuevas formas de generación de energía más distribuida, que disminuyan nuestra dependencia exterior y por otro lado que permitan un desarrollo sostenible. Uno de los pilares para conseguirlo es la potencialización de las energías renovables. Dentro de estas energías, la eólica tiene un papel muy importante en el momento actual y le espera un futuro aún mucho más esperanzador.

Para conseguir mejorar técnicamente su desarrollo, es muy importante el poder realizar actuaciones experimentales en las que se puedan validar y testar el comportamiento tecnológico y de funcionamiento de de diferentes tipos de tecnologías eólicas a lo largo de los años.

Sotavento Galicia S.A. surgió principalmente con el objetivo de ser un instrumento de experimentación de diversas tecnologías eólicas y de sus filosofías de mantenimiento. El parque Eólico Experimental Sotavento es una instalación en la cual no prima la maximización del beneficio empresarial, sino el análisis, validación y experimentación en eólica. Para realizar este objetivo, esta Sociedad creó el Parque Eólico Experimental Sotavento, una instalación pequeña con 17,56 MW de potencia nominal y 24 aerogeneradores. Creemos se puede considerar como el primer “parque eólico experimental de España”.

Después de una década de explotación y demostración estimamos necesario el realizar una humilde publicación en la cual podamos exponer:

- ▶ Las infraestructuras con las que contamos en cuanto a eólica
- ▶ El plan de explotación y gestión de esta diversidad de tecnologías eólicas
- ▶ La experiencia y conclusiones de una década de explotación en cuanto recurso eólico, generación, disponibilidad y mantenimiento
- ▶ Las contingencias más significativas que han acontecido en este periodo
- ▶ El camino normativo que hubo que recorrer tanto desde el punto de vista técnico como de facturación en este intervalo de tiempo

## 2.2 | Antecedentes

La etapa de evaluación del recurso eólico, condicionada a la ubicación del parque, fue la más determinante del proyecto del Parque Eólico Experimental Sotavento, pues su viabilidad dependía de las conclusiones de este estudio.

En esta fase se definió el emplazamiento y modelo de los aerogeneradores que se instalarían; estimándose el viento incidente y la generación eléctrica de las turbinas a lo largo de su vida útil, así como el escenario de financiación necesario.



SOTAVENTO GALICIA S.A. realizó a través de una consultora internacional especializada en análisis del recurso eólico este estudio preliminar. Como datos de partida se emplearon las curvas de rendimiento de las turbinas preseleccionadas y los datos de viento recogidos en la zona en la que se situaría el parque por tres torres anemométricas a las alturas de 10,0 m, 25,0 m, y 41,5 m desde 1996 hasta 1999.

Este estudio establecía una velocidad media de viento de 7,1 m/s para todas las turbinas del parque a una altura de 45,0 m haciendo el proyecto viable económicamente.

## 2.3 | Infraestructuras del parque

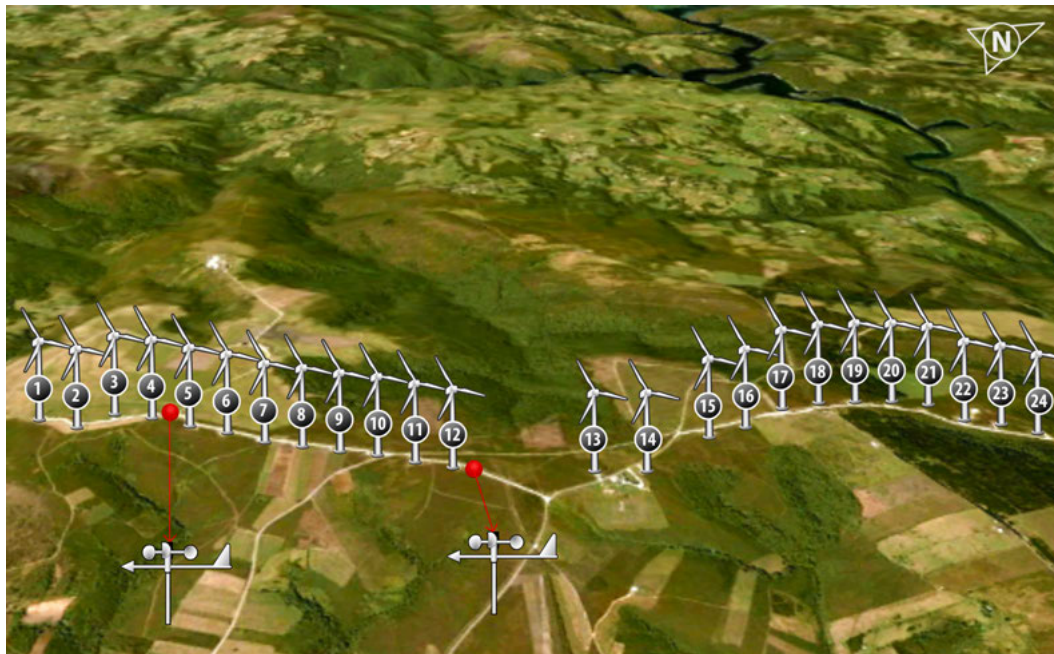
### 2.3.1 | Aerogeneradores

Como ya se ha comentado, el Parque Eólico Experimental Sotavento dispone de 24 aerogeneradores, que suponen una potencia instalada de 17,56 MW. Existen nueve modelos diferentes que representan a cinco tecnologías distintas, de los cuales seis son modelos comerciales y tres eran prototipos cuando se instalaron. De un modo básico, las principales diferencias entre ellos se dan en las tecnologías empleadas para control y regulación de potencia, así como en el tipo de generador eléctrico.

Los aerogeneradores producen energía eléctrica en alterna, la tensión de generación varía entre los 690 V y los 1.000 V dependiendo del modelo en cuestión, siendo posteriormente elevada hasta los 20 kV (tensión de operación de la línea de aerogeneradores) a través de centros secos de transformación situados en base del fuste.

La distribución de las turbinas del parque para cada una de las cinco tecnologías se realizó bajo la premisa de repartirlas en tres áreas diferenciadas energéticamente, A-B-C, siendo A la zona de mejor recurso y C la zona de peores condiciones. Se pretendía de este modo que cada una tuviese máquinas repartidas por las tres zonas, permitiendo el análisis comparativo entre tecnologías ante situaciones con igualdad de recurso.

En la Tabla 2 y siguientes, indican las principales características cada uno de los aerogeneradores.



Nº AERO	MODELO	P (kW)	$\phi^{(1)}$ (m)	$h^{(2)}$ (m)	Nº AERO	MODELO	P (kW)	$\phi^{(1)}$ (m)	$h^{(2)}$ (m)
<b>AE01</b>	Bonus 1,3 MW	1.300	62	49	<b>AE13</b>	NegMicom-48	750	48	45
<b>AE02</b>	NegMicom-48	750	48	45	<b>AE14</b>	Gamesa G47	660	47	45
<b>AE03</b>	Gamesa G47	660	47	45	<b>AE15</b>	Ecotecnia 44/	640	44	46
<b>AE04</b>	Ecotecnia 44	640	44	46	<b>AE16</b>	Made AE-52	800	52	50
<b>AE05</b>	Bonus MK-IV	600	44	40	<b>AE17</b>	Made AE46	660	46	45
<b>AE06</b>	Made AE46	660	46	45	<b>AE18</b>	Bonus MK-IV	600	44	40
<b>AE07</b>	Gamesa G47	660	47	45	<b>AE19</b>	Gamesa G47	660	47	45
<b>AE08</b>	NegMicom-48	750	48	45	<b>AE20</b>	NegMicom-48	750	48	45
<b>AE09</b>	Bonus MK-IV	600	44	40	<b>AE21</b>	Ecotecnia 44	640	44	46
<b>AE10</b>	Made AE46	660	46	45	<b>AE22</b>	Bonus MK-IV	600	44	40
<b>AE 11</b>	Ecotecnia 44	640	44	46	<b>AE23</b>	Made AE46	660	46	45
<b>AE 12</b>	NegMicom-52	900	50	52	<b>AE24</b>	Made AE61	1.320	61	60

<sup>(1)</sup>  $\phi$ : Diámetro del rotor (m)

<sup>(2)</sup> h: Altura del buje (m)

**Tabla 2**  
Distribución y características generales de los aerogeneradores

Nº AERO	X (UTM)	Y (UTM)	a.s.m (m)	Nº AERO	X (UTM)	Y (UTM)	a.s.m (m)
<b>AE01</b>	590.281,00	4.799.043,00	667	<b>AE13</b>	590.750,31	4.800.901,00	637
<b>AE02</b>	590.361,00	4.799.173,00	682	<b>AE14</b>	590.757,47	4.801.057,89	635
<b>AE03</b>	590.331,00	4.799.288,00	688	<b>AE15</b>	590.601,65	4.801.340,02	651
<b>AE04</b>	590.343,00	4.799.415,00	695	<b>AE16</b>	590.578,00	4.801.471,00	668
<b>AE05</b>	590.400,54	4.799.547,00	693	<b>AE17</b>	590.553,00	4.801.609,50	693
<b>AE06</b>	590.445,04	4.799.661,00	690	<b>AE18</b>	590.538,22	4.801.749,37	698
<b>AE07</b>	590.491,50	4.799.784,00	678	<b>AE19</b>	590.519,66	4.801.876,00	698
<b>AE08</b>	590.521,45	4.799.905,17	669	<b>AE20</b>	590.542,03	4.802.011,00	690
<b>AE09</b>	590.551,40	4.800.025,84	661	<b>AE21</b>	590.569,64	4.802.137,00	671
<b>AE10</b>	590.581,35	4.800.146,51	658	<b>AE22</b>	590.622,00	4.802.261,00	657
<b>AE 11</b>	590.640,14	4.800.320,53	655	<b>AE23</b>	590.654,00	4.802.387,00	646
<b>AE 12</b>	590.672,96	4.800.437,00	654	<b>AE24</b>	590.692,29	4.802.512,00	623

**Tabla 3**  
 Características  
 componentes (I)

MODELO	PALAS	MULTIPLICADORA	GENERADOR	TRAFO	RPM <sup>(1)</sup>	RM <sup>(2)</sup>
<b>NM-48</b>	LM	Flender	ABB	France Trasfo	27,00-14,89	67,48
<b>NM-52</b>	LM	Flender	Leroy Somer	ABB	25,50-14,88	67,50
<b>Gamesa G-47</b>	Fiberblade	Flender/Valmet/Hansen	Indar	ABB	31,33-28,48	52,67
<b>Made AE-46</b>	LM	Ehesa	Siemens	ABB	25,47-16,99	59,54
<b>Made AE-52</b>	LM	Flender	Siemens	Siemens	25,50-12,78	58,65
<b>Made AE-61</b>	LM	Flender	Siemens	Siemens	18,80-12,50	80,80
<b>Bonus MK-IV</b>	LM	Flender	ABB	ABB	27,12	55,67
<b>Bonus 1,3 MW</b>	LM	Flender	ABB	France Trasfo	19,4-12,9	77,86
<b>Ecotecnia 44 / 640</b>	LM	Pujol Muntalá	Siemens	Alkargo	27,08	55,76

<sup>(1)</sup> RPM: Revoluciones minuto del rotor eólico en rango de generación

<sup>(2)</sup> RM: Relación de multiplicación 1:XX

MODELO	PT (kVA) <sup>(1)</sup>	TIPO TRAF0 <sup>(2)</sup>	GENERACIÓN	CONTROL DE POTENCIA <sup>(3)</sup>
<b>NM-48</b>	1.000	SE	Asíncrono, 4/6 P	Paso Fijo, Pérdida Aerodinámica
<b>NM-52</b>	1.000	SE	Asíncrono, 4/6 P	Paso Fijo, Pérdida Aerodinámica
<b>Gamesa G-47</b>	775	SSP	Asíncrono, 4 P	Paso Variable, excitación rotórica
<b>Made AE-46</b>	700	SCP	Asíncrono, 4/6 P	Paso Fijo, Pérdida Aerodinámica
<b>Made AE-52</b>	800	SE	Síncrono, 6 P	Paso Variable, control electrónico
<b>Made AE-61</b>	1.400	SE	Asíncrono, 4/6 P	Paso Fijo, Pérdida Aerodinámica
<b>Bonus MK-IV</b>	700	SCP	Asíncrono, 4 P	Paso Fijo, Pérdida Aerodinámica
<b>Bonus 1,3 MW</b>	1.600	SE	Asíncrono, 4/6 P	Paso Variable, Pérdida. Aerodinámica
<b>Ecotecnia 44 / 640</b>	800	SCP	Asíncrono, 4 P	Paso Fijo, Pérdida Aerodinámica

<sup>(1)</sup> Potencia total del transformador (kVA)

<sup>(3)</sup> Sistema de control de potencia

<sup>(2)</sup> Tipo de transformador

SE Seco encapsulado

SSP Seco sin protección

SCP Seco con protección

**Tabla 4**  
Características de componentes (II)

MODELO	MULTIPLICADORA	SISTEMA DE ORIENTACIÓN	FRENADO ORIENTACIÓN	SISTEMA DE FRENADO
<b>NM-48</b>	Planetario ejes paralelos de 3 etapas	4 motores pista interior corona	Freno eléctrico en motor.	Aerofrenos y pinza en eje rápido
<b>NM-52</b>	Planetario ejes paralelos de 3 etapas	4 motores pista interior corona	Freno eléctrico en motor.	Aerofrenos y pinza en eje rápido
<b>Gamesa G-47</b>	Planetario y helicoidal de 3 etapas.	2 motores pista exterior corona.	Freno eléctrico en motor.	Paso variable y pinza en eje rápido
<b>Made AE-46</b>	Ejes paralelos helicoidales de 3 etapas	2 motores pista exterior corona.	Pinzas hidráulicas	Aerofrenos y pinza hidráulica en eje rápido
<b>Made AE-52</b>	Ejes paralelos helicoidales de 3 etapas	2 motores pista exterior corona.	Pinzas hidráulicas	Aerofrenos y pinza hidráulica en eje rápido
<b>Made AE-61</b>	1 etapa planetaria 2 de ejes paralelos helicoidales	4 motores pista exterior corona.	Pinzas hidráulicas	Aerofrenos y pinza hidráulica en eje rápido
<b>Bonus MK-IV</b>	Planetario helicoidal de 3 etapas.	2 motores pista exterior corona.	Frenada pasiva continua.	Aerofrenos y pinza hidráulica en eje rápido
<b>Bonus 1,3 MW</b>	Planetario y helicoidal de 3 etapas.	4 motores pista exterior corona.	Freno eléctrico en motor y frenada pasiva continua.	Paso variable y pinza hidráulica en eje rápido
<b>Ecotecnia 44 / 640</b>	Planetario ejes paralelos de 3 etapas	2 motores pista exterior corona.	Freno hidráulico por cilindro y pastillas	Aerofrenos y pinza en eje lento

**Tabla 5**  
Características de componentes (III)

### 2.3.2 | Torres anemométricas

En el Parque Eólico Experimental Sotavento existen actualmente dos torres anemométricas. La primera de ellas (AN06) se ubica en las cercanías de los aerogeneradores AE04 y AE05, la segunda (AN12) próxima al aerogenerador AE12 (ver Tabla 6). La presencia de estas torres permite la evaluación del recurso eólico al margen de los datos proporcionados por los sensores de los propios aerogeneradores.



**Tabla 6**  
Distribución y características de las torres anemométricas

TORRE	X (UTM)	Y (UTM)	h sensor (m)
AN06(AE04-05)	590345,00	4799510,00	52,0
AN12(AE12-13)	590725,00	4800550,00	45,0

Ambas torres son autoportadas del tipo tubular, sus sensores están ubicados a 52,0 m (AN06) y 45,0 m (AN12), proporcionando datos en tiempo real de velocidad y dirección del viento, presión y temperatura del aire. Estos valores son almacenados en una base de datos.

En la poligonal del parque se han venido realizando mediciones de estos parámetros desde el año 1996 de acuerdo a lo indicado en la tabla siguiente:

**Tabla 7**  
Histórico de torres anemométricas

PERÍODO	ENTIDAD	REGIÓN	H MUESTRAS (m)
Anteriores a 96	CIEMAT	AE18	10
08/1996 - 11/1997	UEF	AE04/05	40
09/1997 - 01/2000	GSTENGA	AE13	40
09/1997 - 01/2000	GSTENGA	AE18	46
04/2000 - 03/2006	INEGA	AE04/05	46
05/2002 - 01/2009	INEGA	AE12	40
04/2006 - 07/2010	INEGA	AE04/05	46
04/2009 - Presente	SOTAVENTO	AE12	45
09/2011 - Presente	SOTAVENTO	AE04/05	52

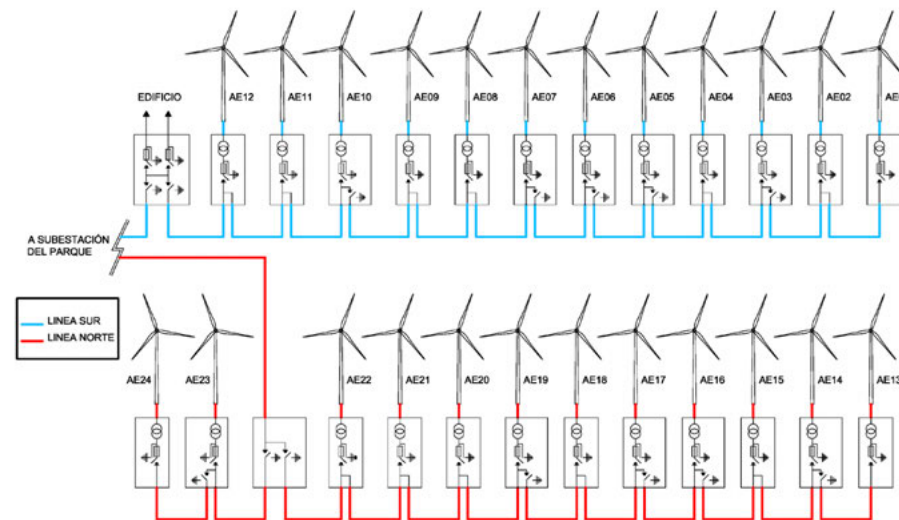
### 2.3.3 | Infraestructuras de evacuación de energía

Las infraestructuras de evacuación de energía del parque abarcan la línea de 20 kV, la subestación, la línea de 132 kV y el punto de interconexión en A Mourela. En los siguientes apartados se indican las características principales de cada una de ellas.

#### LÍNEA DE AEROGENERADORES A 20 KV

Esta línea de transporte de energía eléctrica conecta aerogeneradores, edificio de control y subestación del parque. La tensión de operación es de 20 kV y se distribuye en dos ramales principales (Figura 8):

- ▶ LÍNEA SUR. Abarca los aerogeneradores AE01-AE12, y el edificio multifuncional
- ▶ LÍNEA NORTE. Turbinas AE13-AE24

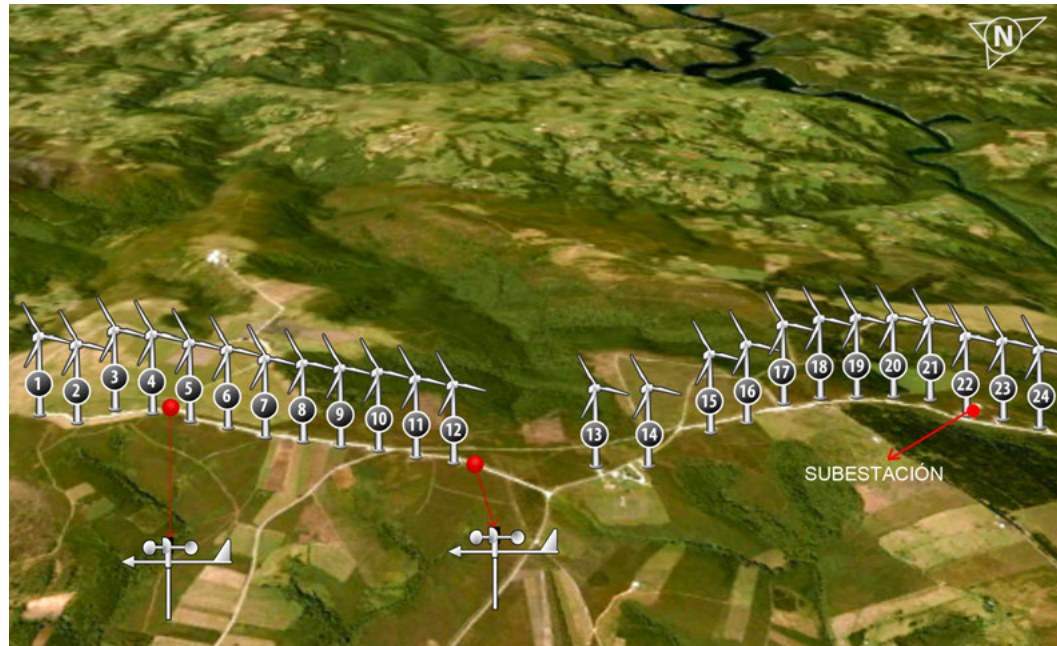


**Figura 8**  
Esquema unifilar y distribución de la línea de aerogeneradores a 20kV



### SUBESTACIÓN DEL PARQUE

El edificio de la subestación se localiza al Norte de la cadena que conforman las turbinas, entre los aerogeneradores AE22 y AE23 (Figura 9).



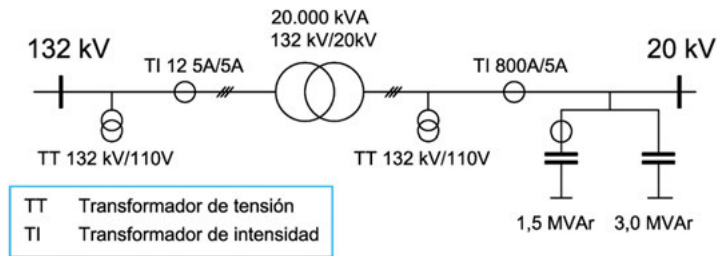
**Figura 9**  
 Ubicación de la subestación del Parque Eólico Sotavento

En la subestación se eleva la tensión desde los 20 kV de la línea de los aerogeneradores hasta los 132 kV. Las características y elementos más relevantes de la misma son:

- ▶ Aparatación en alta y media tensión
- ▶ Transformador de tensión
- ▶ Sistemas auxiliares de protecciones
- ▶ Sistema de medida de energía
- ▶ Celdas de media tensión de 20 kV, que incluyen las siguientes partes:
  - Entrada línea Sur (AE01-AE12)
  - Entrada línea Norte (AE13-AE24)
  - Celda de batería de condensadores de 1,5 MVar
  - Celda de batería de condensadores de 3,0 MVar
  - Celda de medida
  - Celda de servicios auxiliares

PARÁMETROS DEL TRANSFORMADOR		BATERÍA DE CONDENSADORES		2 uds
Potencia nominal	17.560 kW	Potencia Nominal	4.500,00 kVAr	
Relación de transformación	132 kV / 20 kV	Tensión nominal	24,01 kV	
Configuración	Ynd 11	Tensión de trabajo	20,00 kV	

**Tabla 8**  
Características y elementos principales de la subestación



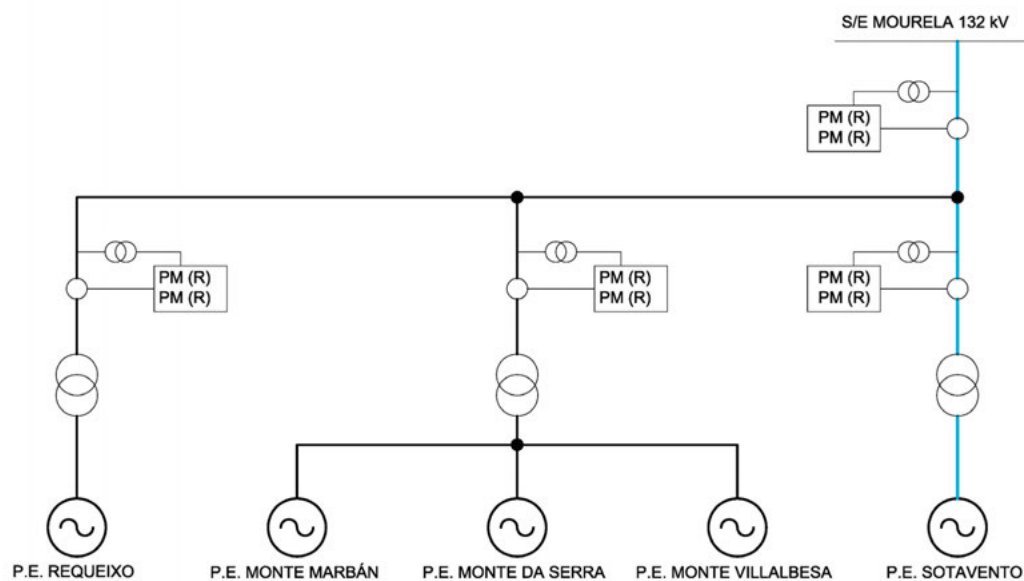
**Figura 10**  
Exterior de la subestación eléctrica del parque



### LÍNEA DE ALTA TENSIÓN A 132 KV

La línea de alta tensión a 132 kV conecta la subestación del parque con la red de transporte de energía eléctrica nacional. El conexionado se efectúa a través del punto de la subestación de distribución sita en A Mourela, As Pontes (A Coruña).

El trazado de la línea (aérea en su totalidad) es el indicado en la Figura 11, completando una longitud total de 8.633 m. La capacidad de transporte de energía es de 90 MW y cuenta con un total de 32 apoyos en su recorrido.



**Figura 11**  
 Distribución y esquema  
 de la línea de 132 kV del  
 parque

La línea es propiedad de SOTAVENTO GALICIA S.A. en su totalidad, a excepción de los 300 últimos metros, que son compartidos con otros promotores eólicos.

CARACTERÍSTICAS LÍNEA DE AT		
Longitud	8.633 m	
Capacidad total	90 MW	
Características eléctricas		
[R] = 0,1962 Ohm/km	[L] = 13,3 104 H/km	[G] = 0,016 10 <sup>-6</sup> S/km
[X] = 0,4176 Ohm/km	[B] = 3,135 10 <sup>-6</sup> S/km	[ZT] = 3,982 64,83°
[Z] = 0,1962 +j 0,4176 Ohm/km	[C] = 985 10 <sup>-9</sup> F/km	[Ck] = 3,135 106 S/km

**Tabla 9**  
Características de la línea de 132 kV

### PUNTO DE INTERCONEXIÓN DE A MOURELA

Este es el punto frontera definido por Red Eléctrica Española; es decir, a partir de este punto REE es la gestora de la energía eléctrica. A esta subestación se conectan diversos generadores y consumidores con el mismo nivel de tensión (Figura 11).

Los elementos y características más relevantes de la misma son:

- ▶ Aparatación en alta y media tensión
- ▶ Transformador de tensión
- ▶ Sistemas auxiliares de protecciones
- ▶ Sistema de medida de energía

### OTRAS INSTALACIONES. RED DE COMUNICACIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico Sotavento está comunicado con el exterior mediante redes de datos de banda ancha redundantes que permiten mantener una comunicación constante con el mismo:

- ▶ Líneas ADSL estándar (acometen al parque mediante fibra óptica)
- ▶ Línea ADSL WIFI (llega al parque mediante radioenlace)

Dentro del parque existen varias subredes que permiten desarrollar con solvencia las diferentes tareas y proyectos.

El medio utilizado para el transporte de información entre el interior y exterior del parque es fibra óptica monomodo y multimodo, empleándose únicamente cableado estructurado en la conexión con los equipos.

Las principales subredes existentes son:

#### 1 Red de aerogeneradores (Producción)

Esta red de comunicación se ha implementado para un análisis en paralelo de los datos proporcionados por los SCADA's de los aerogeneradores.

Subred de fibra óptica (con topología Token Ring) que comunica todos los aerogeneradores con el edificio de control.

## 2 Red de explotación

Subred compuesta por todos los equipos dedicados a la explotación desde el punto de vista técnico:

- ▶ Segmentos de red y equipos SCADA's de aerogeneradores y subestación
- ▶ Segmentos de red y equipos de torres anemométricas
- ▶ Segmentos de red y equipos relacionados con proyectos experimentales específicos

## 3 Red de Divulgación

Compuesta por todos los equipos dedicados a labores educativo-divulgativas:

- ▶ Estaciones de trabajo de educadores
- ▶ Puntos información-divulgación Interactivos

## 4 Red de Servidores

Dentro de la subred de servidores, ubicada en la sala de racks del edificio de control del parque, se encuentran centralizados todos los servidores de información que proporcionan los diferentes servicios a todas las demás subredes. Es una red DMZ (especialmente protegida).

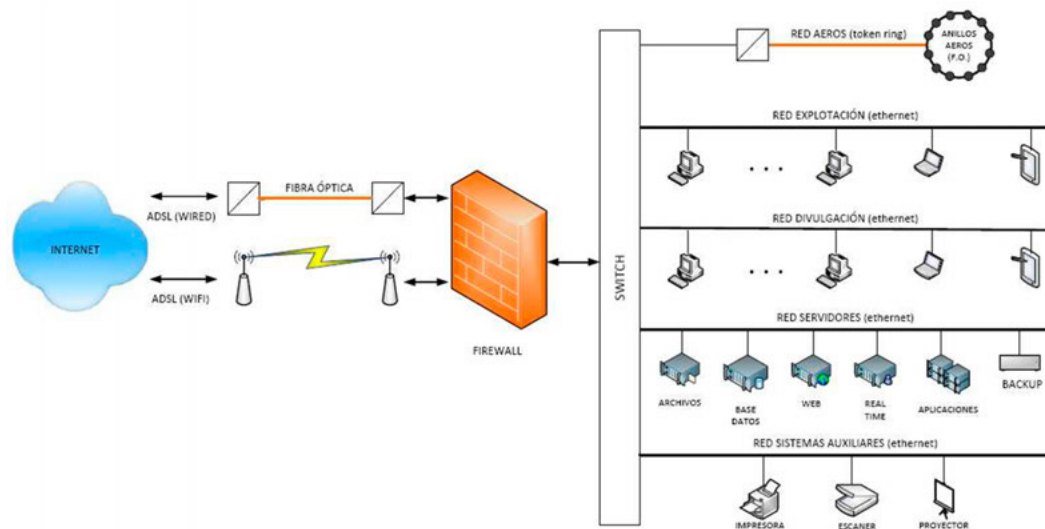
Los servidores que contiene son:

- ▶ Servidor de archivos (Active Directory)
- ▶ Servidor de base de datos (SQL Server)
- ▶ Servidor WEB (Apache, y Tomcat)
- ▶ Servidor Real Time (SCADA datos tiempo real)
- ▶ Servidores Aplicaciones (Proyectos, instalaciones, etc.)
- ▶ Servidor de Backup (NAS)

## 5 Red de Sistemas Auxiliares

Red que contiene equipos auxiliares, de uso común, compartidos por las demás subredes (impresoras, escáner, pantallas de proyección, etc.).

Todas las subredes están protegidas mediante un completo sistema firewall. Todos los equipos principales disponen de sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).



**Figura 12**  
Esquema de redes de comunicación del Parque Eólico Sotavento

## 2.4 | Plan de explotación y trayectoria en una década

### 2.4.1 | Objetivo

La explotación comercial del parque se inició con la puesta en marcha de los primeros aerogeneradores en noviembre del año 2000, si bien no fue hasta principios del 2001 cuando se pusieron en marcha la totalidad de los mismos.

El plan de explotación del parque estaba diseñado para llevar a cabo un análisis de las tecnologías eólicas implementadas en Galicia por aquel entonces y bajo la premisa de que el proyecto fuese viable económicamente. Se instalaron así nueve modelos de aerogeneradores diferentes, cuyo mantenimiento sería efectuado por su respectivo tecnólogo con el objetivo de optimizar el rendimiento y poder realizar un análisis comparativo lo más aséptico posible entre las tecnologías. Desde el Parque Eólico Experimental Sotavento se efectuaría una labor de supervisión y seguimiento de las labores de mantenimiento, con la finalidad de comparar las diferentes filosofías empleadas (una por tecnología) y el consecuente enriquecimiento desde el punto de vista del conocimiento que esto supone. La pretensión era conseguir mejorar el rendimiento en un parque de esta complejidad tecnológica, posibilitándose el acceso a la información de los mantenedores y extraer lo mejor de cada uno de ellos.

Desde el departamento técnico de Sotavento se gestionan todas las actuaciones de mantenimiento realizadas en el parque, supervisión y alcance de trabajos, operación y control del parque, así como cualquier actuación que responda a necesidades puntuales con la finalidad de:

- ▶ Optimizar la producción, mantenimiento y facturación del parque en base a la máxima disponibilidad de las instalaciones
- ▶ Garantizar un horizonte de funcionamiento en óptimas condiciones del parque de al menos 20 años
- ▶ Disponer las actuaciones necesarias para el cumplimiento de las normas y disposiciones técnicas-económicas exigibles en cada momento
- ▶ Tener operativos los diferentes sistemas de comunicaciones, bases de datos y demás sistemas auxiliares o complementarios existentes en el parque, garantizando un funcionamiento óptimo de las infraestructuras en los proyectos acometidos y para el funcionamiento diario

### 2.4.2 | Puesta en marcha del Parque Eólico Sotavento

La puesta en marcha de las instalaciones resultó problemática debido a una serie de contingencias motivadas por la complejidad de ejecutar e instalar nueve modelos diferentes de aerogeneradores. La ausencia de un proyecto de detalle e inexistencia de estudios que analizaran exhaustivamente las singularidades de una instalación tan particular como lo es este parque experimental contribuyeron a dificultar esta fase.

Entre las contingencias más significativas de esta etapa destacan:

- ▶ Ejecución fragmentada e inconexa del parque. La obra civil, las infraestructuras eléctricas, cada tecnología de aerogeneradores, las comunicaciones y el propio edificio de control fueron ejecutados por distintas empresas, sin un servicio integral. Todo ello desembocó en muchas indefiniciones de proyecto y en la toma de decisiones, que a su vez provocaron que surgiesen adicionales no previstos inicialmente
- ▶ Realización de un edificio para la explotación y control del propio parque no adaptado en la funcionalidad de los espacios que posteriormente se han demandado
- ▶ Ausencia de estudio de selectividad de protecciones en 132 kV-20 kV-BT
- ▶ Cableado no timbrado en las líneas de 20 kV, con celdas incorrectamente conectadas
- ▶ En algún aerogenerador, líneas de baja tensión cruzadas entre transformador y generador
- ▶ Imposibilidad de supervisar desde el control a los aerogeneradores al no ejecutarse en paralelo la línea de 20 kV y la red de comunicaciones
- ▶ Celdas de media tensión sin posibilidad de corte en remonte, dificultando el energizado de los aerogeneradores
- ▶ Inadecuada concepción y ejecución del sistema de comunicaciones, tanto del parque como del propio edificio de control

Todas estas carencias resultaron en una puesta en marcha del parque compleja y más costosa de lo contemplado inicialmente, e implicaron que con posterioridad se realizasen actuaciones adicionales no previstas, con el consecuente coste económico y esfuerzo de ajuste para adecuarse a lo “ya existente”.

Como conclusión y experiencia desde Sotavento en esta fase, creemos conveniente destacar la importancia que en una instalación de estas características adquiere un análisis previo y en profundidad del proyecto a realizar, de modo que sirva para sentar unas sólidas bases de lo que se pretenden ejecutar. Este análisis es además fundamental para establecer el volumen del proyecto y con ello la estructura financiera necesaria, minimizando en el futuro actuaciones no previstas, y evitándose circunstancias desfavorables desde el punto de vista de la ejecución técnica y presupuestaria. Otro aspecto fundamental en un proyecto “peculiar” como ha sido éste, es disponer de un proyecto de detalle, así como la necesidad de un Project Manager con amplia experiencia y poderes en la fase de ejecución que reduzca y solucione cualquier problemática que pueda surgir en el desarrollo del parque.

### 2.4.3 | Operación y gestión de las principales infraestructuras del parque

Por operación y gestión del parque eólico han de entenderse todas aquellas actuaciones encaminadas a mantener en estado de funcionamiento óptimo al mismo. Abarcan una combinación de acciones técnicas y administrativas tan diversas como:

- ▶ Gestión de contratos de mantenimiento con empresas especializadas
- ▶ Gestión de repuestos y stocks
- ▶ Gestión de actuaciones correctivas en elementos no contempladas en los servicios de mantenimiento programado
- ▶ Seguimiento y control para la adecuación de la instalación a la normativa vigente
- ▶ Adecuación a las exigencias del operador de red
- ▶ Seguimiento de los aerogeneradores y gestión de las actuaciones necesarias sobre los mismos
- ▶ Control y contraste de los datos de las torres anemométricas de referencia con los datos de los aerogeneradores
- ▶ Verificación del estado y análisis de los datos generados de modo programado y manual, controlar que se almacenan de modo correcto y continuado. Comprobar además que estos posean la calidad adecuada que permita trabajar con ellos de cara a una correcta elaboración de informes
- ▶ Supervisión y control de las comunicaciones de los aerogeneradores, subestación, telefonía y procesos
- ▶ Realización de las tareas para la facturación de la energía
- ▶ Análisis de la tarifa energética óptima para compra/venta de energía

## 2.4.4 | Mantenimiento de las principales infraestructuras del parque

Dentro de las acciones de mantenimiento se encuadran todas aquellas que tienen como objeto mantener un elemento, o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo la función requerida. La finalidad es compensar el deterioro por el uso, por los agentes meteorológicos, o defectos propios material.

De un modo global, los trabajos de mantenimiento efectuados en el parque se pueden agruparse en los siguientes tipos:

### **Mantenimiento correctivo**

Únicamente se realizan tareas cuando ocurre un fallo en un sistema o componente.

### **Mantenimiento preventivo**

Realización de un plan de mantenimientos, regularmente programado, que reduce la posibilidad de que ocurran determinados fallos.

### **Mantenimiento predictivo**

Monitorización del estado de los componentes tomando las acciones necesarias de antemano para evitar posibles averías.

## **MANTENIMIENTO DE AEROGENERADORES**

El mantenimiento de los aerogeneradores se ha venido ejecutando a través de una relación contractual entre SOTAVENTO GALICIA S.A. y los propios tecnólogos. En esta primera década se distinguen claramente dos etapas:

- 1 Los primeros cinco años de explotación. El contrato mantenimiento para todos los aerogeneradores del parque fue del tipo integral con cada tecnólogo. La cuantía del mismo era variable y asociada a la generación de cada máquina
- 2 Transcurrido este período inicial, se han renegociado los contratos con los tecnólogos, cerrando con cada uno de ellos alcances diferentes

Como particularidad propia del Parque Eólico Sotavento, comentar que la medición de la energía generada que condiciona el importe económico del mantenimiento se efectúa en el propio aerogenerador, no a nivel de la subestación como ocurre en un parque tradicional con una única tecnología.

En la actualidad, en el parque tenemos los siguientes tipos de contratos de mantenimiento:

### **Mantenimiento integral**

Mantenimiento en el que se incluyen mano de obra, medios externos, consumibles y repuestos. El precio es variable en razón de la generación.

### Mantenimiento pseudo-integral

Similar a contrato integral, pero se excluyen componentes principales: generador, multiplicadora y palas. Se establecen precios de referencia para la mano de obra y reposición del resto componentes no incluidos. El precio es variable en razón de la generación.

### Mantenimiento a precio prefijado

Esta modalidad únicamente incluye mantenimiento preventivo periódico y consumibles. El precio es un montante fijo anual. Las restantes actuaciones significativas que haya que realizar se efectúan mediante empresas externas.

El tipo de contrato de mantenimiento para cada tecnólogo ha sido seleccionada bajo los criterios del alcance actuaciones, repuestos disponibles, cuantía y oferta de mantenedores existente.

A modo de tabla, y desde la perspectiva de SOTAVENTO, se resumen las ventajas e inconvenientes de cada una de estas modalidades contractuales:

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>INTEGRAL</b>	Mayores garantías y comodidad para el promotor-gestor	Mayor importe al asumir el mantenedor el riesgo de averías
<b>PSEUDO-INTEGRAL</b>	Mayor control de la explotación por el promotor	Control y gestión de repuestos por el promotor-gestor Necesidad de personal en parque para el gestor-promotor
<b>PRECIO PREFIJADO</b>	Control total de la explotación Independencia de empresas	Necesidad de formación del personal de mantenimiento Necesidad de disponer de útiles para el mantenimiento de cada modelo de turbina. En un parque como Sotavento, nueve en total Gestión de repuestos compleja por el bajo volumen de negocio manejado Problemas de agilidad a la hora de resolver contingencias urgentes al no disponer de una empresa mantenedora previamente contratada

**Tabla 10**  
Ventajas e inconvenientes por tipo de mantenimiento

### MANTENIMIENTO DE TORRES ANEMOMÉTRICAS

Las tareas de mantenimiento de las torres anemométricas del parque consisten en la verificación periódica de los sensores de medida y del estado general de la estructura, así como la comprobación de la existencia continuada de datos. El mantenimiento de las mismas es efectuado por personal del propio parque.



### **MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN DE ENERGÍA**

Los trabajos de mantenimiento de las infraestructuras de evacuación son realizados de modo conjunto por SOTAVENTO y empresas externas, pudiendo resumirse en:

- Revisión anual de los centros de transformación de los aerogeneradores y del edificio
- Revisión periódica de las infraestructuras de la subestación incluyendo: comprobación de puntos calientes, pares de apriete, engrases y limpieza general
- Revisión periódica de la línea de 132 kV comprendiendo: desbroces de maleza, revisión de puestas a tierra, estado de la estructura de apoyo, estado de aisladores y comprobación mediante termografía de puntos calientes
- Cada tres años, y según normativa, estas infraestructuras están sometidas a una revisión externa por un Organismo de Control Autorizado (OCA)
- Verificación cada dos años por REE, según reglamentación, del sistema de medida de energía en alta tensión

### **MANTENIMIENTO DE REDES DE COMUNICACIÓN**

Las actuaciones en las redes de comunicación del parque son propuestas y coordinadas por SOTAVENTO, y realizadas por empresas externas. Incluyen principalmente las siguientes actuaciones:

- Disposición de reglas de acceso y revisión de protocolos
- Revisión de router, firewall perimetral y antivirus en equipos
- Actualización de firmware de equipos
- Verificación del Sistema de Alimentación Ininterrumpido
- Copia de seguridad periódica

## 2.5 | Conclusiones de una década de explotación

### 2.5.1 | Recurso eólico

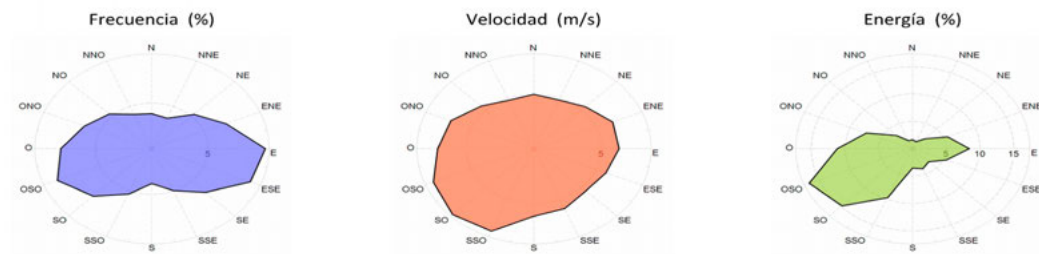
En este apartado se resume el comportamiento del recurso eólico en el parque a lo largo de una década de explotación.

La evolución de la velocidad, dirección y contenido energético del viento en los emplazamientos de referencia del parque (ver 2.3.2 torres anemométricas) para el período 2001-2011, ambos incluidos, se representan en las Figuras 13 y 14.

#### TORRE AN06

Velocidad media del emplazamiento: **6,42 m/s**

Representatividad 83,20%

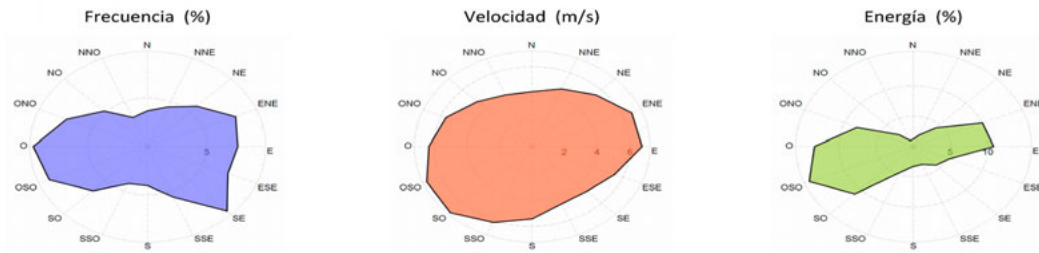


**Figura 13**  
Recurso eólico torre anemométrica AN06 (2001-2011)

#### TORRE AN12

Velocidad media del emplazamiento: **5,72 m/s**

Representatividad 83,23%



**Figura 14**  
Recurso eólico torre anemométrica AN12 (2001-2011)

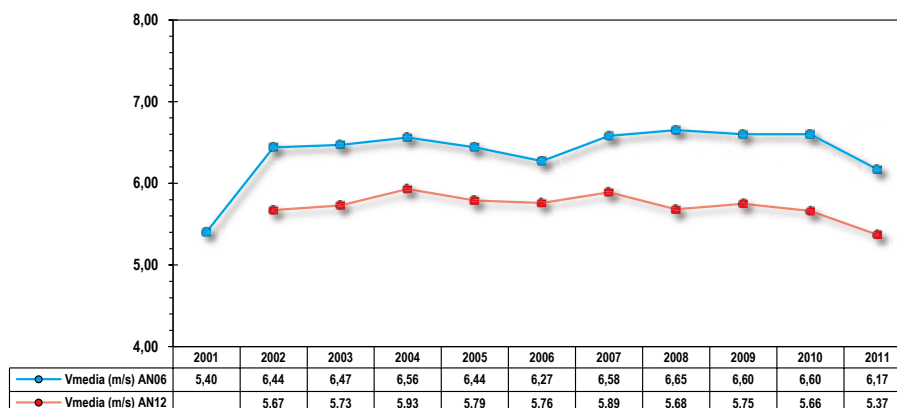
De estas gráficas podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Los vientos con mayor contenido energético se encuentran en el eje ENE-OSO
- La velocidad viento según la orientación presenta una distribución ligeramente homogénea, prevaleciendo también el eje ENE-OSO
- La frecuencia de los vientos según su orientación presenta una distribución similar a la de la energía
- La velocidad media del viento en los emplazamientos de referencia ha sido:
  - » Torre AN12 (h 45 m) 5,72 m/s
  - » Torre AN06 (h 52 m) 6,42 m/s

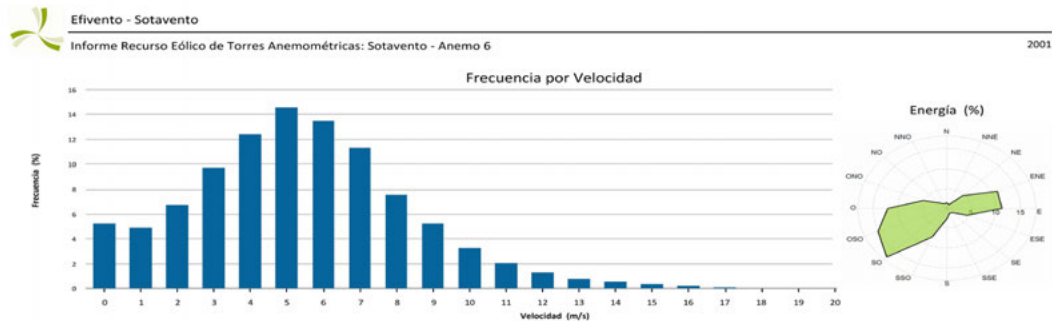
Como reflexión, el informe inicial de evaluación del recurso eólico del Parque Experimental Sotavento predecía una velocidad media de 7,1 m/s a 45,0 m. Este valor comparado con el de la torre AN12, que por sus características particulares ha demostrado ser la que mejor describe el comportamiento real del parque de acuerdo a la curva de potencia, supone un 20% menos de la previsión inicial. Esta desviación se debe principalmente a que la evaluación del recurso eólico a largo plazo está sujeta a elevadas incertidumbres, de todo tipo. Además, la tendencia de los últimos años a nivel de España parece corresponderse a un período de disminución en la intensidad del viento.

La velocidad media de viento por año y torre de referencia se muestra en la Figura 15. Es destacable la diferencia entre el valor medio de las velocidades obtenido para cada torre, la cual se debe a la distinta altura en la que se ubican los sensores (52,0m-AN06 y 45,0m-AN12), diferente cota sobre el nivel del mar, diversa rugosidad y a las características del entorno en el que se ubican. La torre AN06, más expuesta, a mayor cota y con una altura de toma de datos 7 m superior, registra valores superiores a los de la AN12.

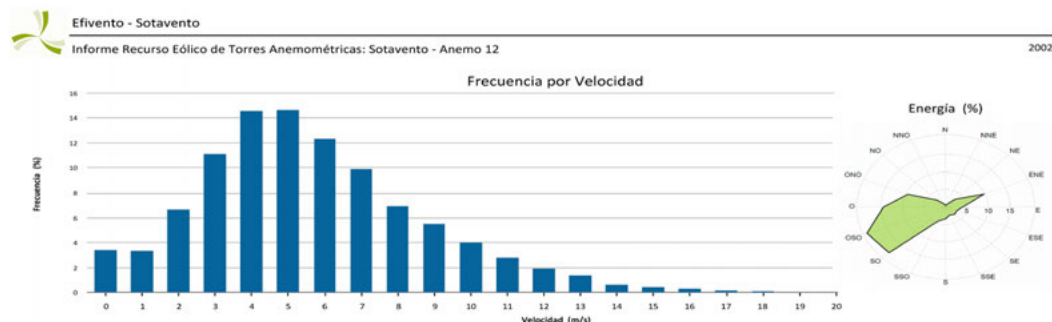
**Figura 15**  
 Evolución de la velocidad media del viento en torres anemométricas (2001-2011)



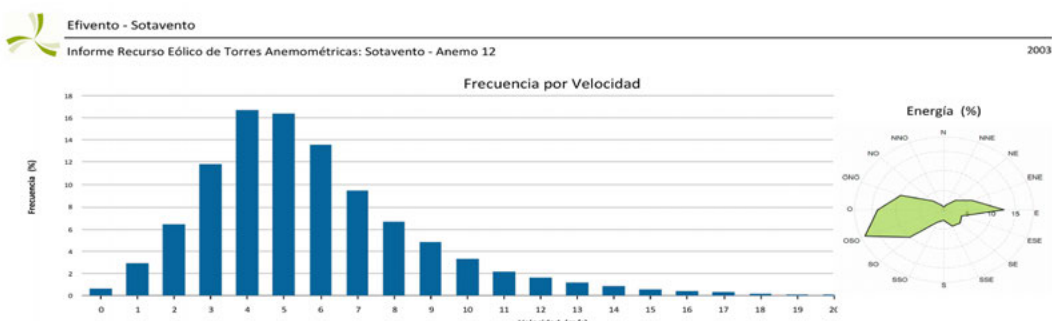
La distribución de frecuencia por velocidades y la rosa de los vientos de energía para cada año se muestran en las Figuras 16-26. Se ha procurado proporcionar datos de la torre anemométrica AN12 por su mayor representatividad, salvo aquellos años en que los datos de esta torre presentan una disponibilidad baja frente a la torre AN06.



**Figura 16**  
Distribución de frecuencia por velocidad y energía AN06 (2001)

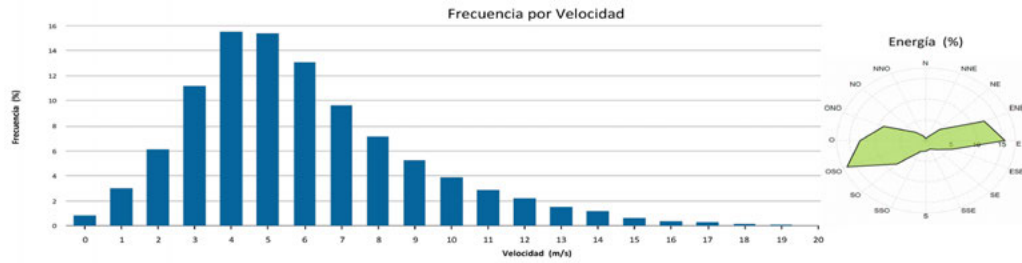


**Figura 17**  
Distribución de frecuencia por velocidad y energía AN12 (2002)



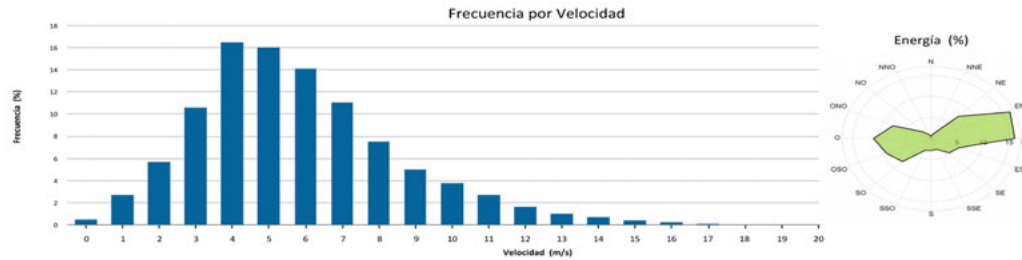
**Figura 18**  
Distribución de frecuencia por velocidad y energía AN12 (2003)

Efivento - Sotavento  
 Informe Recurso Eólico de Torres Anemométricas: Sotavento - Anemo 12 2004



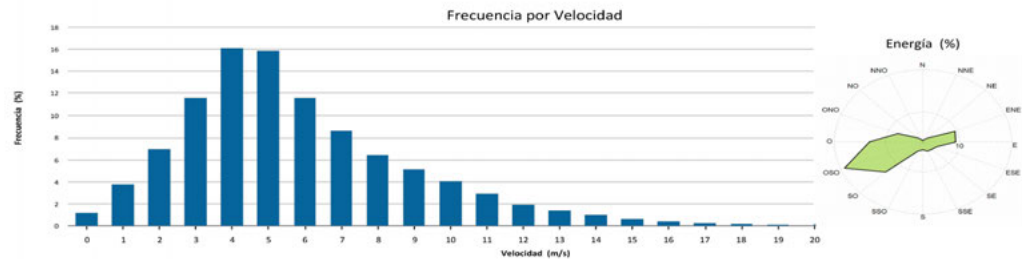
**Figura 19**  
 Distribución de frecuencia  
 por velocidad y energía  
 AN12 (2004)

Efivento - Sotavento  
 Informe Recurso Eólico de Torres Anemométricas: Sotavento - Anemo 12 2005

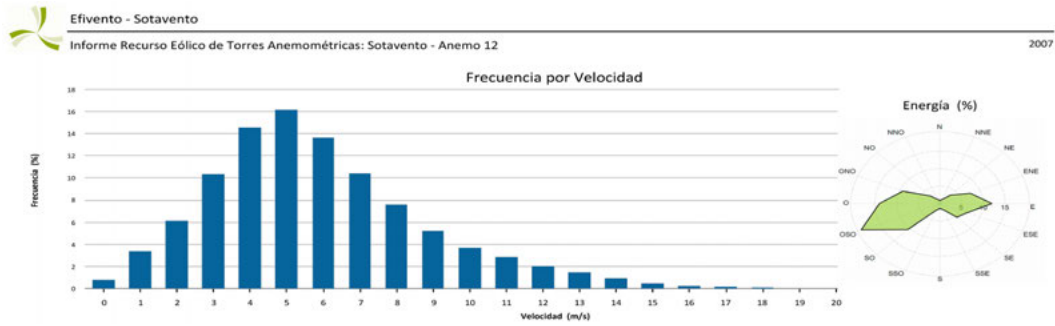


**Figura 20**  
 Distribución de frecuencia  
 por velocidad y energía  
 AN12 (2005)

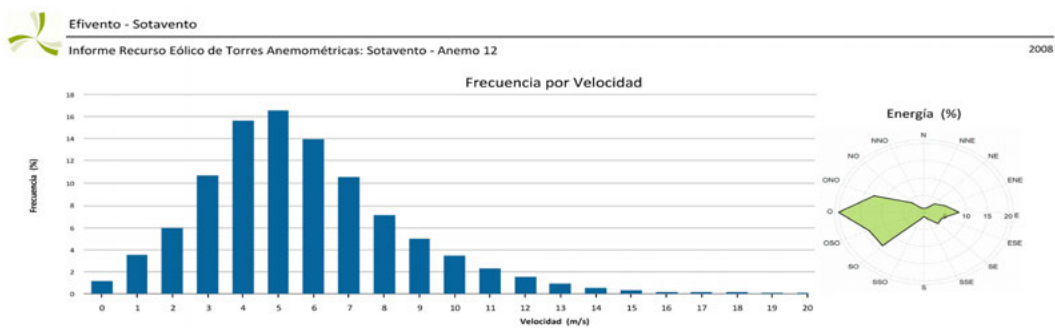
Efivento - Sotavento  
 Informe Recurso Eólico de Torres Anemométricas: Sotavento - Anemo 12 2006



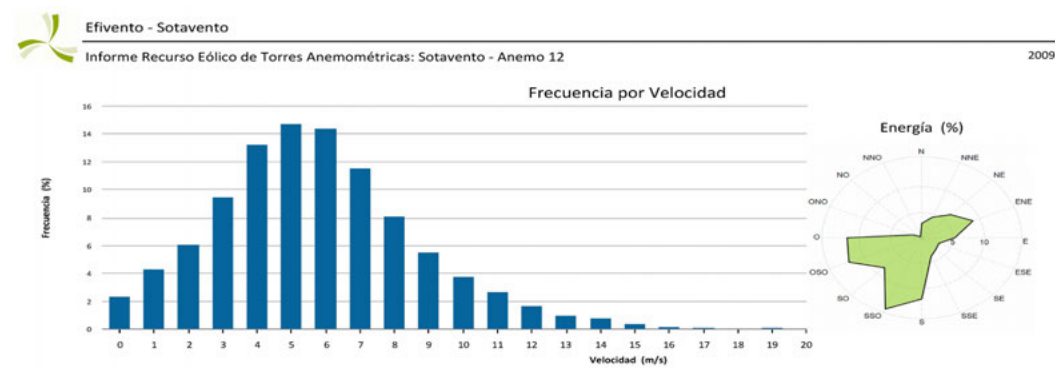
**Figura 21**  
 Distribución de frecuencia  
 por velocidad y energía  
 AN12 (2006)



**Figura 22**  
Distribución de frecuencia por velocidad y energía AN12 (2007)

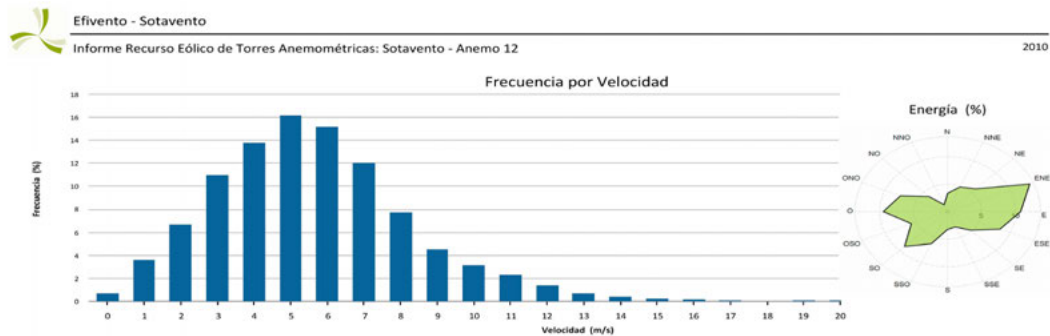


**Figura 23**  
Distribución de frecuencia por velocidad y energía AN12 (2008)

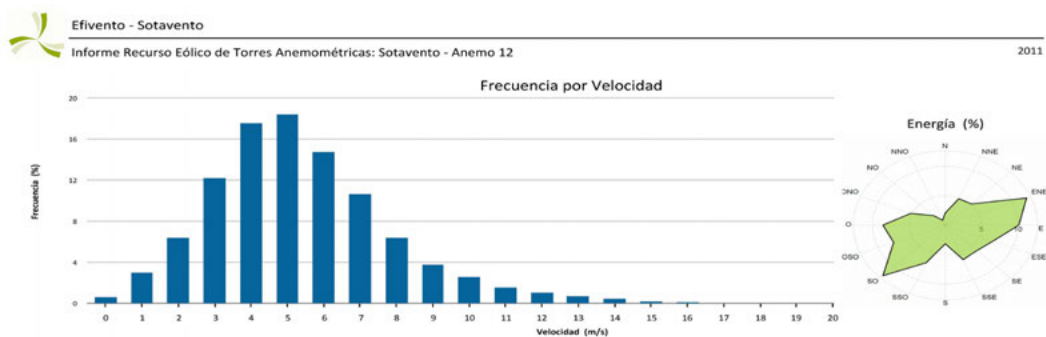


**Figura 24**  
Distribución de frecuencia por velocidad y energía AN12 (2009)

**Figura 25**  
Distribución de frecuencia  
por velocidad y energía  
AN12 (2010)



**Figura 26**  
Distribución de frecuencia  
por velocidad y energía  
AN12 (2011)



## 2.5.2 | Aerogeneradores. Comportamiento en generación de energía

Para evaluar la manera de comportarse de los aerogeneradores en lo referente a generación de energía durante esta década atenderemos a dos criterios:

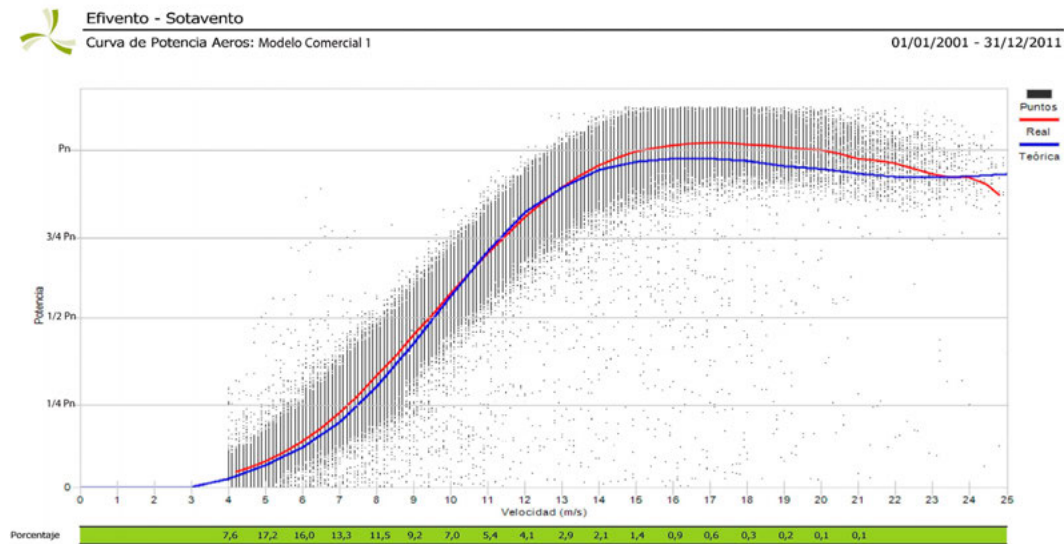
- ▶ Cumplimiento de curva de potencia
- ▶ Disponibilidad de los aerogeneradores

Todos los datos y gráficos que se muestran en esta sección y empleados en la parametrización de la curva de potencia y de la disponibilidad, han sido obtenidos del programa de gestión eólica EFIVENTO (para más detalles sobre EFIVENTO, ver capítulo 4).

### CUMPLIMIENTO DE LA CURVA DE POTENCIA

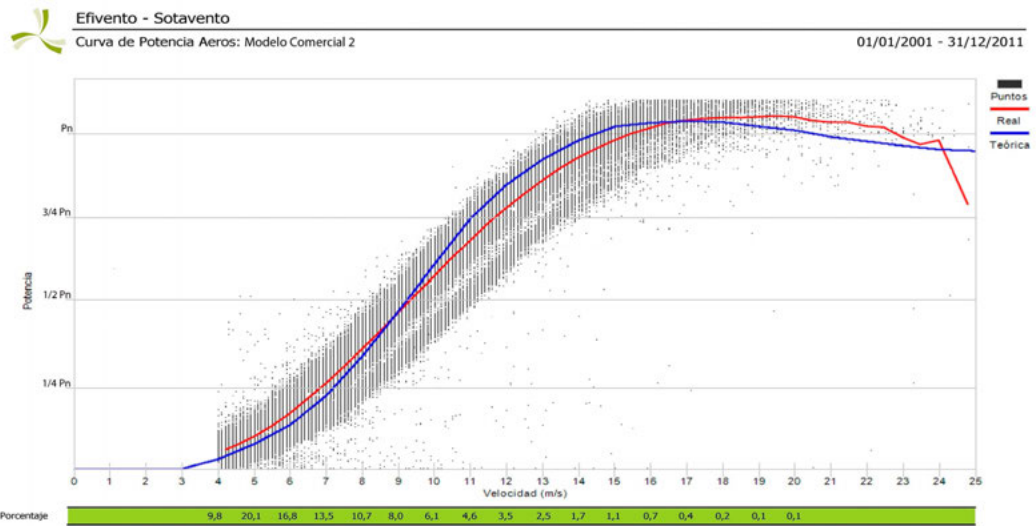
La labor realizada en el parque a través de distintos proyectos, ha permitido la obtención de la curva correspondiente a cada modelo mediante datos propios (EFIVENTO).

Las Figuras 27-35 nos muestran la curva de potencia para cada uno de los nueve modelos del parque, considerándose únicamente los datos en rango de generación y agrupados por máquinas del mismo modelo. En cada gráfica se indica el número de muestras empleadas. Se ha decidido prescindir de la escala numérica para la potencia, referenciándose los valores a una fracción de la potencia nominal del aerogenerador ( $P_n$ ). El motivo de ello es evitar que las conclusiones de este documento sean extrapoladas a otros emplazamientos y presentar la información del modo más aséptico posible. De este modo, se emplea la nomenclatura Modelo Comercial X y Prototipo X para referirnos a las máquinas especificadas en la Tabla 1.

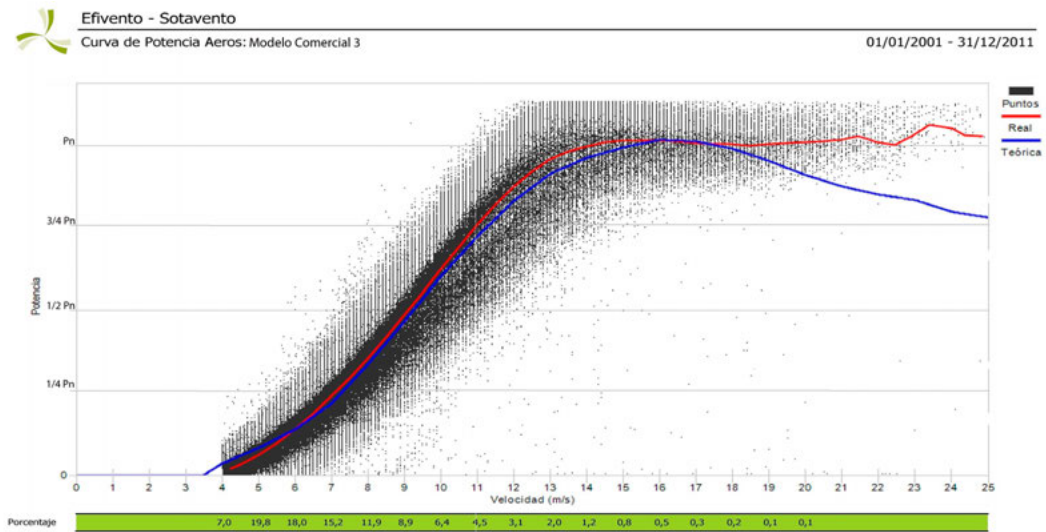


**Figura 27**  
Curva de potencia para el Modelo Comercial 1 período 2001-2011 (1.465.489 muestras)

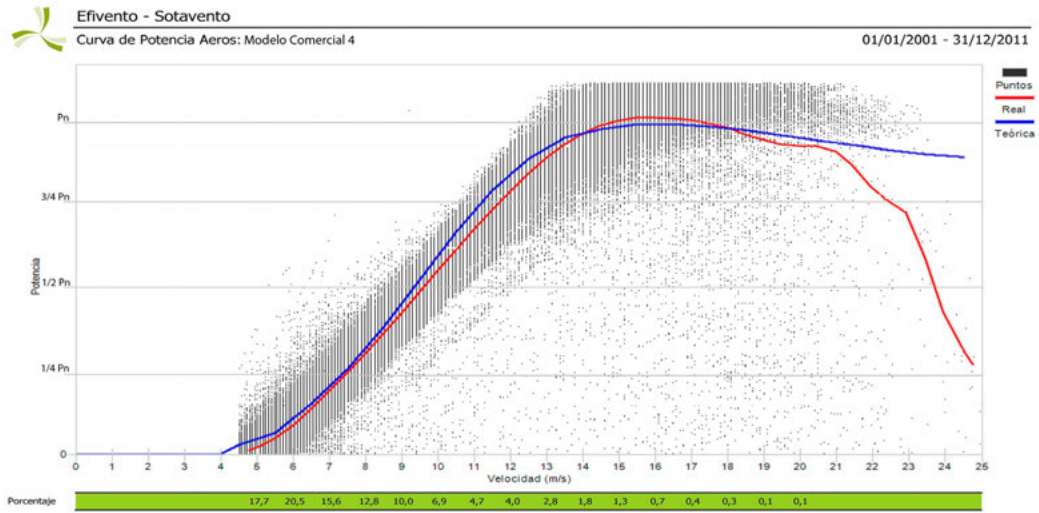




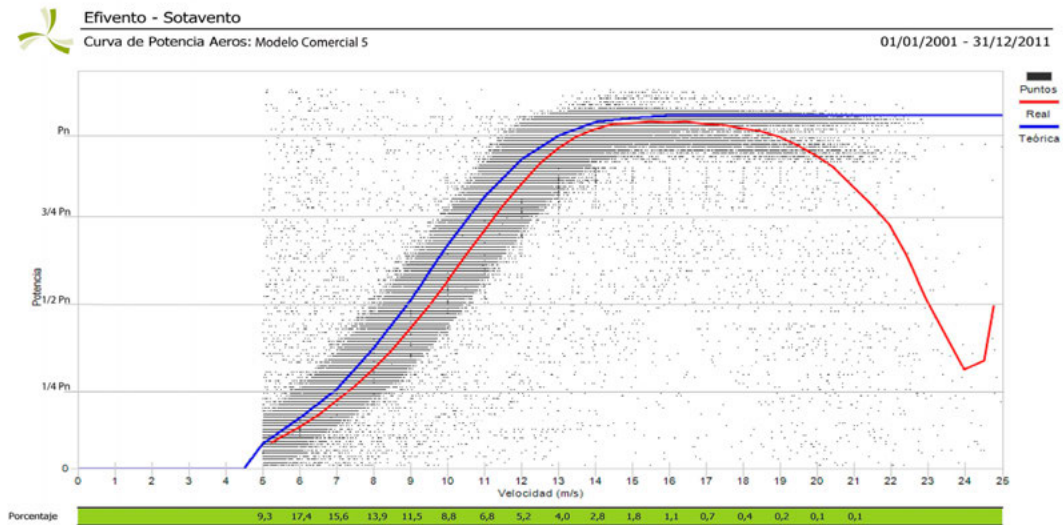
**Figura 28**  
 Curva de potencia para el  
 Modelo Comercial 2 período  
 2001-2011 (337.629  
 muestras)



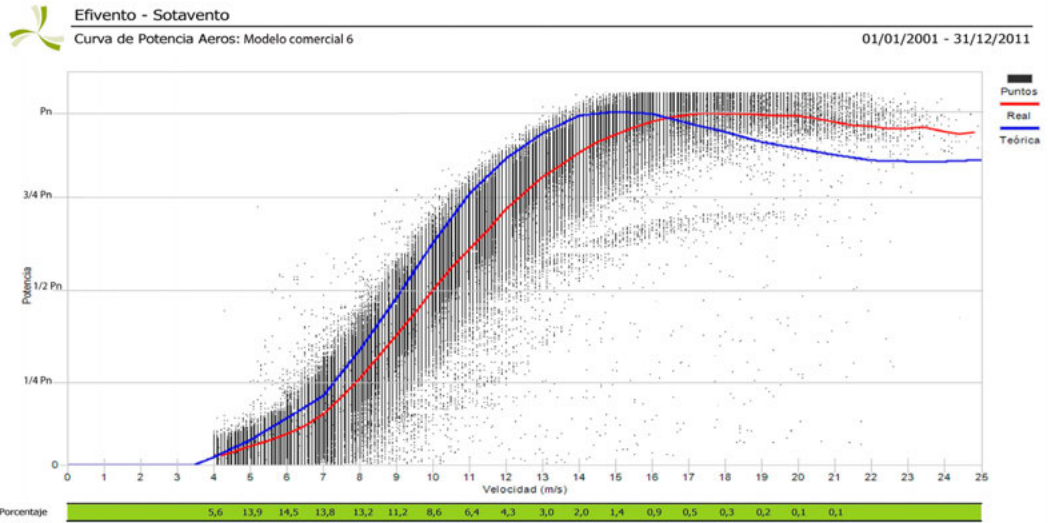
**Figura 29**  
 Curva de potencia para el  
 Modelo Comercial 3 período  
 2001-2011 (1.243.518  
 muestras)



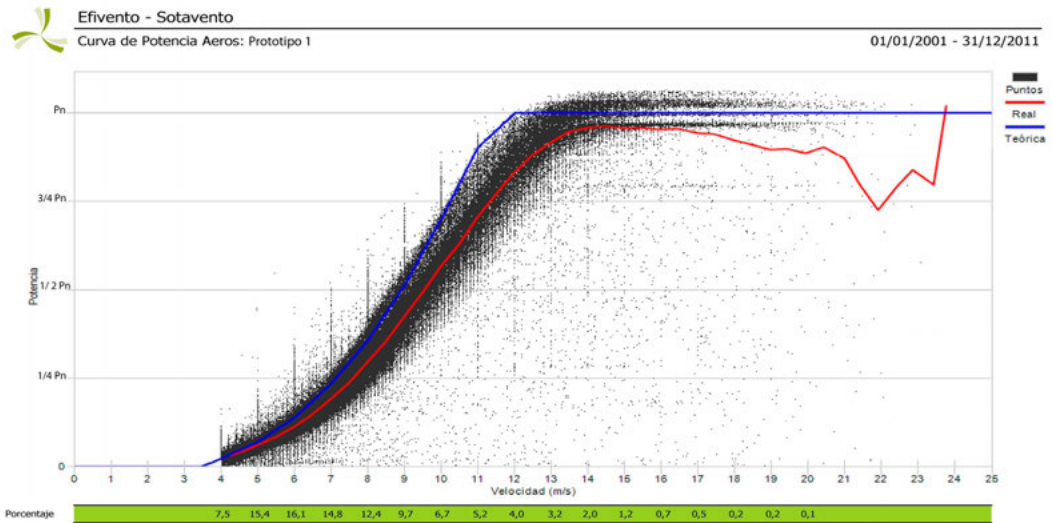
**Figura 30**  
Curva de potencia para el Modelo Comercial 4 período 2001-2011 (1.232.442 muestras)



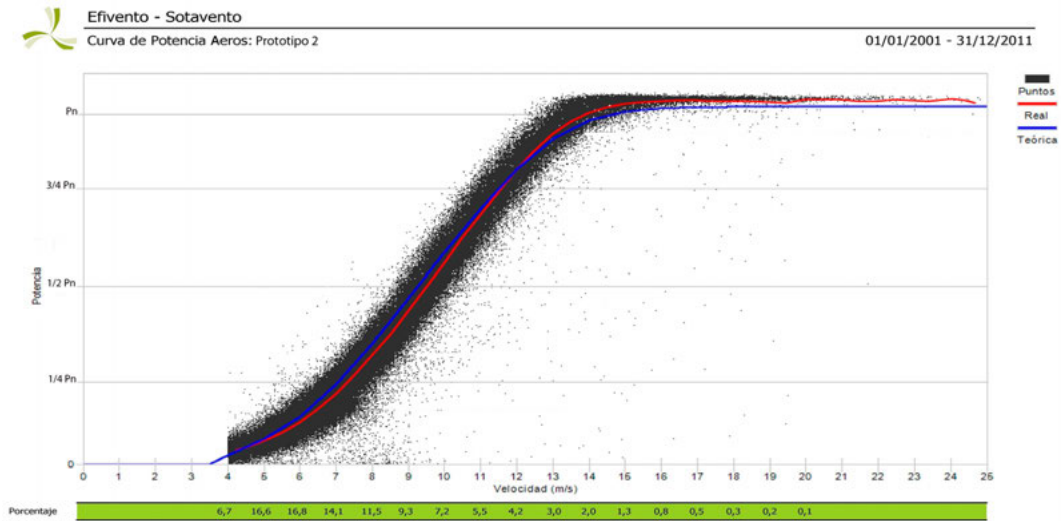
**Figura 31**  
Curva de potencia para el Modelo Comercial 5 período 2001-2011 (1.014.403 muestras)



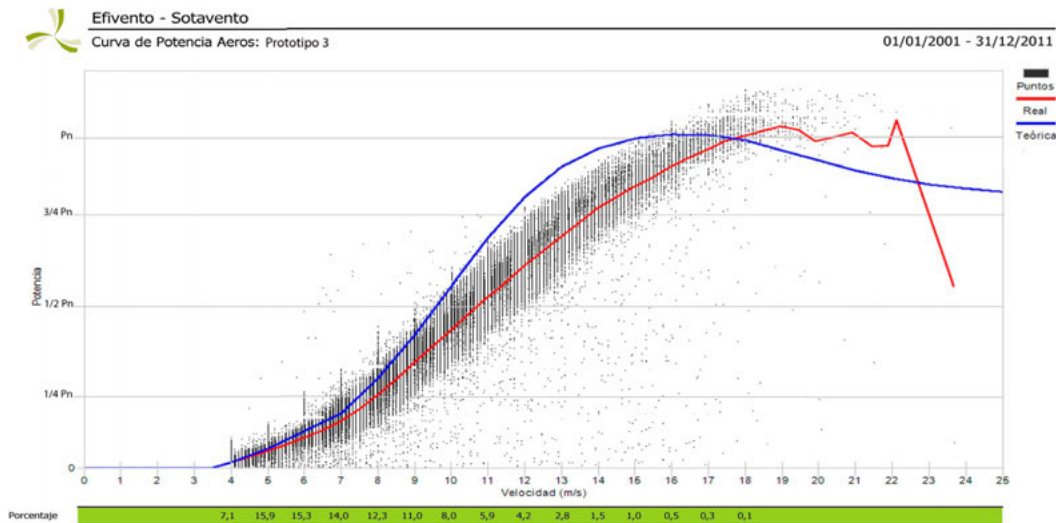
**Figura 32**  
 Curva de potencia para el  
 Modelo Comercial 6 período  
 2001-2011 (1.472.109  
 muestras)



**Figura 33**  
 Curva de potencia para el  
 Prototipo 1 período 2001-  
 2011 (270.821 muestras)



**Figura 34**  
Curva de potencia para el Prototipo 2 período 2001-2011 (322.761 muestras)



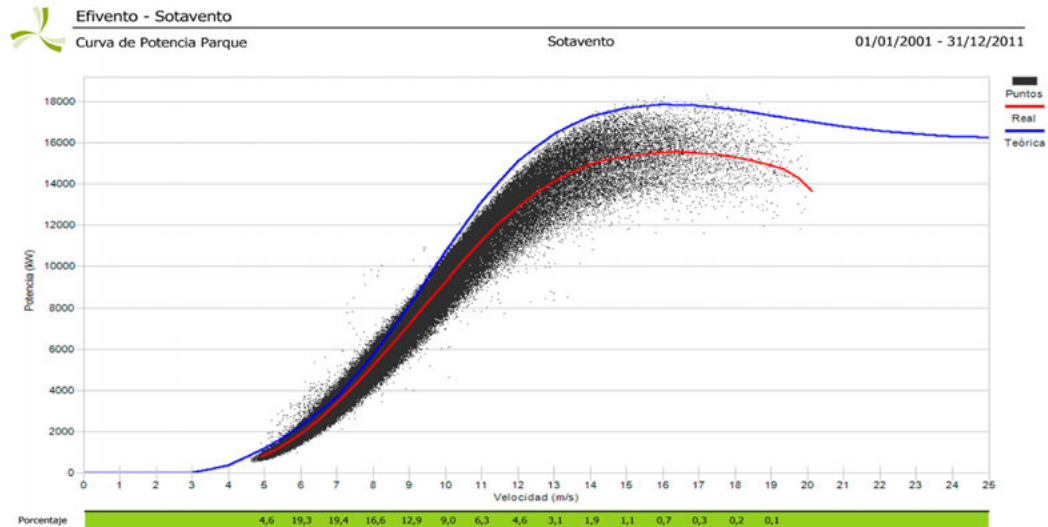
**Figura 35**  
Curva de potencia para el Prototipo 3 período 2001-2011 (323.543 muestras)

En todas las figuras, la curva roja representa la curva de tendencia de los valores existentes, la azul la teórica del fabricante. Para algunos modelos, en valores superiores a 21 m/s de viento se observa distorsión en la tendencia debido a su escasa representatividad estadística.

A la vista de estas gráficas, podemos decir que existen modelos de aerogeneradores cuya curva de potencia real observada en el Parque Eólico Experimental Sotavento se encuentra por

debajo de la teórica; así mismo, en algún modelo el comportamiento es el contrario, generando más energía de la esperada.

Como consecuencia de que la mayor parte de las curvas reales, en modelos comerciales o prototipos, están por debajo de la curva teórica (Figuras 27-35) provoca que la curva total del parque también se sitúe por debajo, Figura 36.

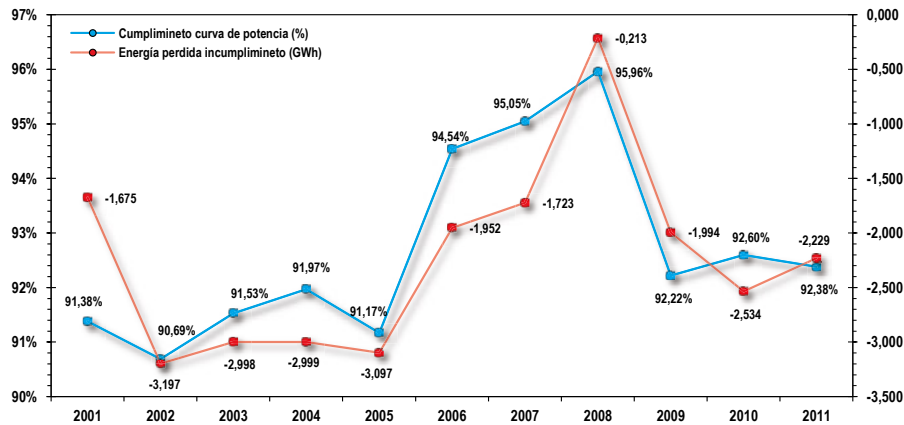


**Figura 36**  
 Curva de potencia del  
 Parque Eólico Sotavento  
 período 2001-2011  
 (227.615 muestras)

En base al número de muestras empleadas en cada modelo y al espacio temporal que abarca el estudio, podemos considerar a las curvas obtenidas como la curva normal de estos modelos de aerogeneradores en el emplazamiento del Parque Eólico Sotavento, no habiéndose apreciado durante el período desajustes en los sistemas de captación que puedan haber inducido a conclusiones erróneas.

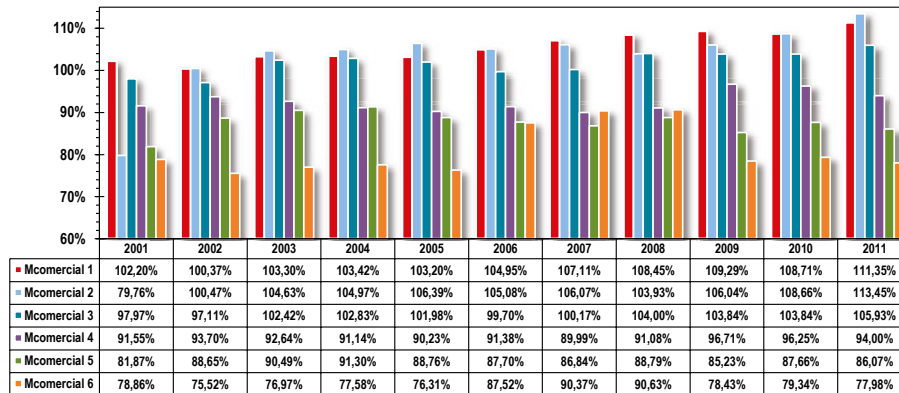
Hemos de remarcar que las curvas de potencia teóricas facilitadas por el fabricante no son específicas para la ubicación real y condiciones de viento en el aerogenerador, provocando en parte este desajuste entre curvas.

El incumplimiento de la curva de potencia del parque implica que siempre existe una desviación entre la energía producida y la teórica. En la Figura 37 se representa la energía perdida (GWh) conjuntamente con el porcentaje de cumplimiento de la curva de potencia para el período 2001-2011. La energía desviada se ha obtenido en base a los valores diezminutales para cada aerogenerador, corrigiéndose según el valor de la densidad del aire en el momento de la medición.

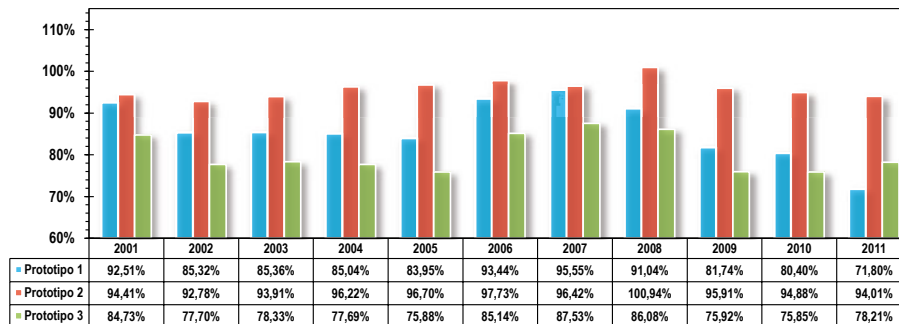


**Figura 37**  
Cumplimiento de curva de potencia y energía perdida (GWh) por incumplimiento en el parque (2001-2011)

Analizando individualmente los datos por cada modelo de aerogenerador (diferenciándose modelos comerciales y prototipos), el porcentaje de cumplimiento de curva de potencia para cada año ha sido el que se indica en las Figuras 38 y 39.



**Figura 38**  
Cumplimiento de curva de potencia de modelos comerciales período 2001-2011



**Figura 39**  
Cumplimiento de curva de potencia de prototipos período 2001-2011



La explicación de los valores de cumplimiento de la curva en los Modelos Comerciales 5-6 y Prototipo 3, anormalmente bajos, puede deberse a la dificultad de realizar medidas exactas durante la certificación de la curva, o incluso a un posible criterio de certificación no homogeneizado entre los distintos fabricantes. Hemos de recordar en este punto que el contenido energético varía con la tercera potencia de la velocidad del viento, de modo que un error del 2% en las mediciones se traduce en desviaciones energéticas del 8%.

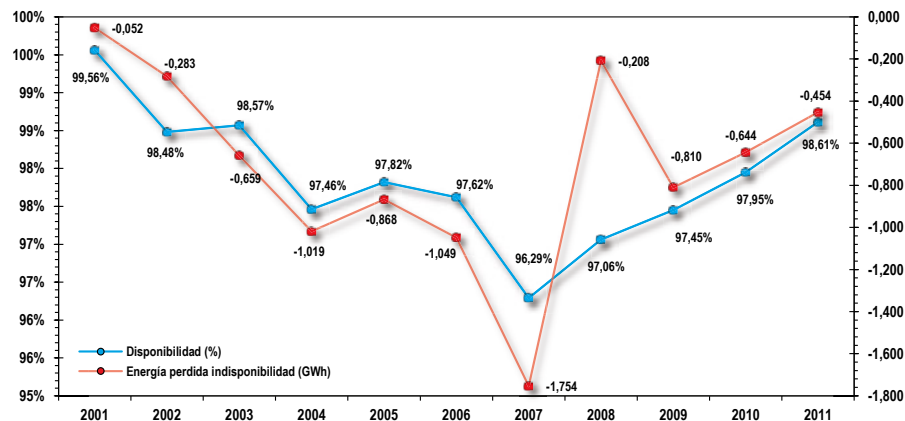
Como experiencia y conclusión, en la adquisición de un aerogenerador, el promotor debiera exigir al tecnólogo la garantía de determinado rendimiento para el emplazamiento concreto en el que se va a ubicar la máquina.

### DISPONIBILIDAD DE AEROGENERADORES

La disponibilidad se define como la fracción entre las horas en las que los aerogeneradores han tenido capacidad de generación y las horas totales operativas.

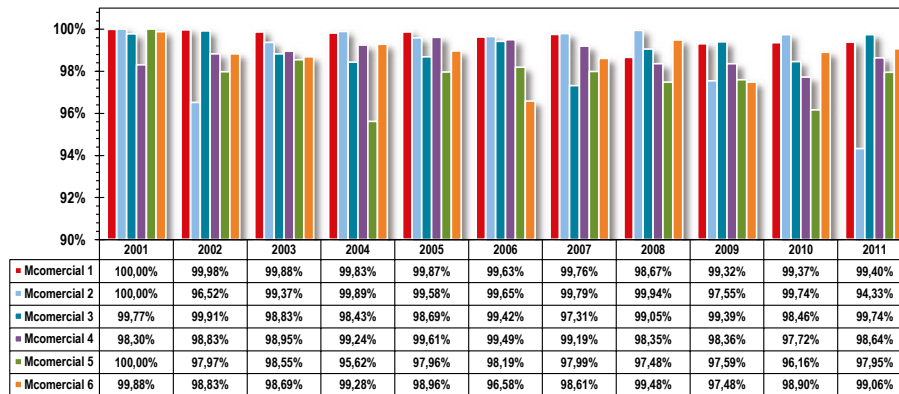
En los valores de disponibilidad aquí representados, a diferencia de los ofrecidos por el SCADA nativo del tecnólogo, se han computando todas las incidencias (incluso casos de turbina parada con rango de viento pero sin mostrar error).

En la Figura 40 se representa la evolución de la disponibilidad del parque desde el 2001 hasta el 2011. También se muestra la energía perdida (calculada a partir de la curva teórica y asociada a cada intervalo diezminutal) a causa de esta indisponibilidad.

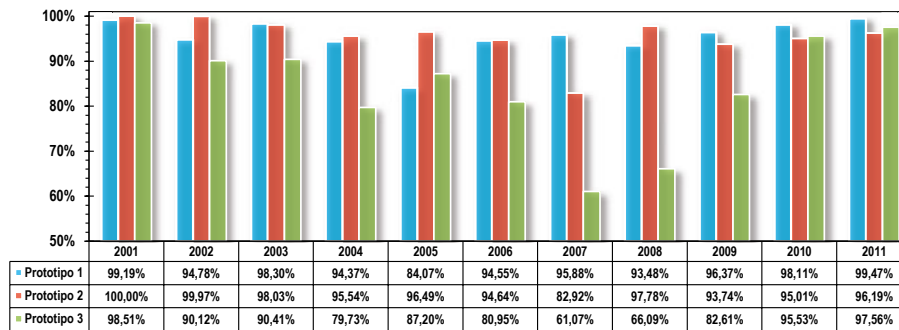


**Figura 40**  
 Evolución de la disponibilidad y energía perdida por indisponibilidad del parque (2001-2011)

Al igual que para la curva de potencia, en las Figuras 41 y 42 indican el valor medio de la disponibilidad anual para los modelos comerciales y prototipos.



**Figura 41**  
Disponibilidad de aerogeneradores modelos comerciales período 2001-2011



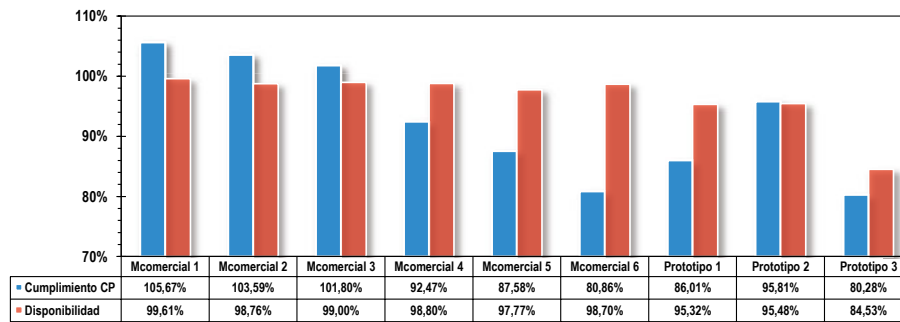
**Figura 42**  
Disponibilidad de aerogeneradores prototipos período 2001-2011

De los resultados expuestos en las figuras superiores extraemos que:

- La disponibilidad se mantiene en valores aceptables teniendo en consideración la dificultad de mantener grupos de aerogeneradores tan reducidos (en algunos casos sólo una unidad) y la existencia de aerogeneradores prototipo que no presentan una estandarización de suministros ni de mantenimiento
- El parámetro de la disponibilidad puede inducir a juicios erróneos a la hora de evaluar el rendimiento de un aerogenerador si no se correlaciona con la velocidad del viento; es decir, y tal como se observa en la Figura 40, valores de disponibilidad similares pueden arrojar pérdidas energéticas muy diferentes, en función de que durante el período no disponible se presentase mayor o menor rango de viento

Como reflexión, el promotor debiera exigir una determinada disponibilidad al mantenedor condicionada al viento con objeto de reducir las pérdidas energéticas por indisponibilidad.





**Figura 43**  
Cumplimiento de curva y disponibilidad media por modelo (2001-2011)

La Figura 43 resume la información de los dos apartados anteriores, en ella se indica el valor medio de la disponibilidad y del cumplimiento de la curva de potencia por cada modelo para todo el período 2001-2011.

Por todo lo expuesto en los dos apartados anteriores, desde el Parque Eólico Experimental Sotavento se viene empleando un parámetro que considera la energía perdida por indisponibilidad y por el incumplimiento de curva para evaluar a los aerogeneradores en un determinado período. Matemáticamente se define a través de la expresión inferior, nombrándose como “comportamiento”:

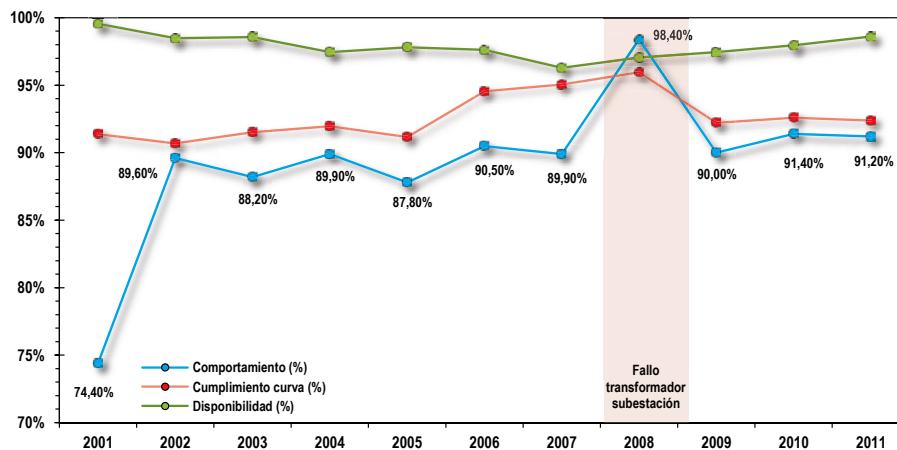
$$\text{Comportamiento} = \frac{\text{Egenerada}}{\text{Egenerada} \pm \text{Eindisponibilidad} \pm \text{Edisponibilidad}}$$

Donde:

- Egenerada: Energía generada por el aerogenerador en el período considerado
- Eindisponibilidad: Energía teórica perdida en el período de indisponibilidad
- Edisponibilidad: Desviación de energía respecto de la teórica

El cálculo del valor teórico de energía empleando la expresión anterior se efectúa para cada período diezminutal según norma UNE 61400-12, corrigiéndose cada uno de estos valores con la densidad del aire.

De acuerdo a este parámetro, para un determinado período, es posible que un aerogenerador que cumpla sobradamente con la curva de potencia teórica proporcione valores de comportamiento superiores a la unidad, siempre y cuando la energía perdida por indisponibilidad en dicho período no compense el efecto de la curva de potencia. Agrupando a todas las turbinas del parque, los valores obtenidos para el comportamiento se muestran en Figura 44, conjuntamente con los de disponibilidad y cumplimiento de curva.



**Figura 44**  
Comportamiento, disponibilidad y cumplimiento de curva del parque

En la figura superior destaca el valor del comportamiento para el primer año, anormalmente bajo respecto al resto, radicando el motivo en la puesta en marcha del parque. En cambio, comparativamente el año 2008 proporciona un valor muy superior, ello es debido a una serie de contingencias acaecidas en el parque (ver apartado Fallo de transformador principal) que provocaron que únicamente estuviese operativo los dos primeros meses del año, el resultado así obtenido no es comparable al del resto de años.

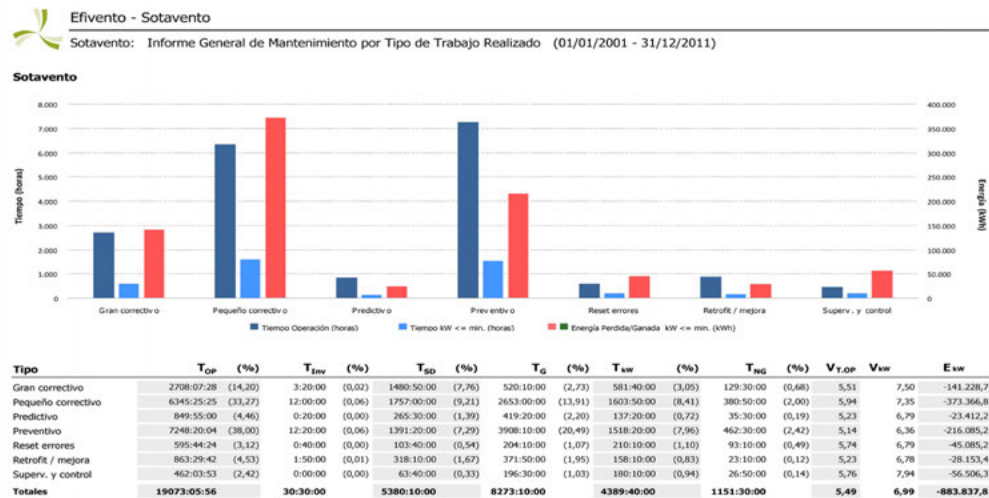
A modo resumen, los resultados obtenidos a través de EFIVENTO para el cumplimiento de curva de potencia, disponibilidad y comportamiento del parque para el período 2001-2011 han sido:

- El cumplimiento de curva de potencia 92,68%
- La disponibilidad 97,90%
- Valor medio del comportamiento 89,19%
- Las pérdidas de energéticas asociadas por indisponibilidad han supuesto 7,798 GWh, al precio medio de venta de energía del período ascienden a 0,596 M€
- Las pérdidas de energéticas asociadas al incumplimiento de la curva de potencia han ascendido a 24,612 GWh, que suponen 1,881 M€

### 2.5.3 | Aerogeneradores. Experiencia en mantenimiento

Desde un punto de vista general del mantenimiento, la experiencia de estos diez años nos indica que lo realmente importante no es establecer el tiempo destinado a cada tipo de mantenimiento, si no la gestión de los tres para cada promotor, mantenedor y gestor.

Al igual que en apartados anteriores, se han empleado los datos proporcionados por EFIVENTO que aglutinan la información de los partes de mantenimiento del parque para extraer conclusiones.



En donde:

- T<sub>op</sub> Tiempo de operación
- T<sub>inv</sub> Tiempo con datos de tecnólogo inválidos
- T<sub>sd</sub> Tiempo sin datos de tecnólogo.
- T<sub>G</sub> Tiempo con producción
- T<sub>kW</sub> Tiempo sin producción con viento de generación
- T<sub>NG</sub> Tiempo sin producción sin viento de generación
- V<sub>T,OP</sub> Velocidad media de viento durante el tiempo de operación
- V<sub>kW</sub> Velocidad media de viento durante T kW <= min
- E<sub>kW</sub> Energía perdida/ganada durante T kW <= min

De la Figura 45, podemos resumir los siguientes aspectos como los más importantes:

- Tiempo total destinado a operaciones 19.073 horas
- Energía perdida por actuaciones de mantenimiento: 883,8 MWh
- La energía perdida por mantenimiento se engloba dentro de las pérdidas por indisponibilidad (que ascendieron a 7,798 GWh), suponiendo únicamente un 1% de las mismas

Agrupando las operaciones por tipo de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo) el tiempo total dedicado a cada una se muestra en la siguiente tabla:

TIPO DE MANTENIMIENTO	H TOTALES	%
Correctivo	10.111,3	53,02
Preventivo	7.248,3	38,00
Predictivo	1.713,4	8,98

**Tabla 11**  
Tiempo total por tipo de mantenimiento (2001-2011)

Las conclusiones más destacables obtenidas a través de la experiencia del Parque Eólico Sotavento por cada tipo de mantenimiento durante esta década serían:

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- ▶ Beneficios de agrupar el mantenimiento de varios elementos para reducir el número de intervenciones
- ▶ No todas las revisiones periódicas presentan el mismo nivel de exhaustividad. Suelen realizarse revisiones semestral y anualmente, siendo las anuales las más rigurosas
- ▶ Las tareas de preventivo han de servir de base para planificar actuaciones predictivas tales como: análisis aceite, medidas vibraciones y termografías en condiciones de carga de viento
- ▶ Existen diferencias sustanciales para este tipo de mantenimiento dependiendo de la filosofía del mantenedor

### MANTENIMIENTO CORRECTIVO

- ▶ La importancia de una gestión adecuada en los repuestos problemáticos (multiplicadora, palas) que suponen un elevado coste y suelen llevar asociados largos plazos de entrega, hace esencial buscar el equilibrio entre tenerlo en stock o la gestión de compra en el momento del fallo
- ▶ La existencia de talleres cercanos y especializados acorta el plazo de entrega, disminuye el coste de reparación, pone a disposición del promotor información detallada de la reparación y del repuesto, y ayuda diagnosticar las causas fallo
- ▶ En el momento actual observamos que la tendencia es compartir componentes reparados o en stock entre promotores, gestores y mantenedores

### MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La experiencia nos indica que es esencial realizar al menos las siguientes operaciones:

- ▶ Análisis de aceite de multiplicadora
- ▶ Análisis de vibraciones en caso de detectarse por el operario de mantenimiento preventivo alguna anomalía. Esta función puede implementarse en el software de control del aerogenerador

- Análisis de temperaturas en componentes mediante termografías en momentos de carga de viento. Esta tarea también puede implementarse en el software de control
- El mantenimiento predictivo proporciona información muy valiosa e interesante, pero su implementación ha de ser valorada para cada caso bajo la relación coste/beneficio asociado

### **INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO EN LA DISPONIBILIDAD Y EL RENDIMIENTO**

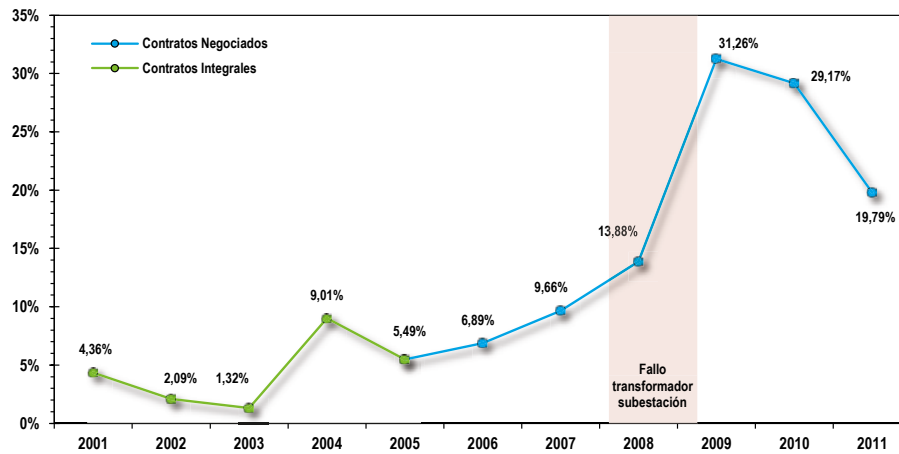
Obviamente el mantenimiento es un elemento determinante en la disponibilidad de los aerogeneradores; sin embargo, éste es difícilmente cuantificable. Como aspectos más significativos del mismo, desde nuestra experiencia tenemos que resaltar:

- Tiempo de respuesta del mantenedor ante una parada en una máquina
- Verificación exacta del listado de comprobaciones de las tareas de mantenimiento
- Motivación del personal de mantenimiento, trasladándoles la importancia de planificar las actuaciones en períodos con rango de viento bajo y evitar paradas de máquinas innecesarias
- Disponer de personal cualificado que pueda detectar pequeñas anomalías y con ello evitar contingencias futuras mayores
- Presencia de montacargas en los aerogeneradores
- Contar con un centro de control que supervise permanentemente el funcionamiento de los aerogeneradores coordinando el envío de personal de mantenimiento en base a las predicciones de viento y las posibilidades de reparación. Este centro presentaría además la ventaja de poder utilizarse como la conexión con el CECRE, obligatorio por normativa
- Disponer de acceso a repuestos, propios o externos, para cada modelo de aerogenerador

### **ANÁLISIS DE COSTES DE MANTENIMIENTO**

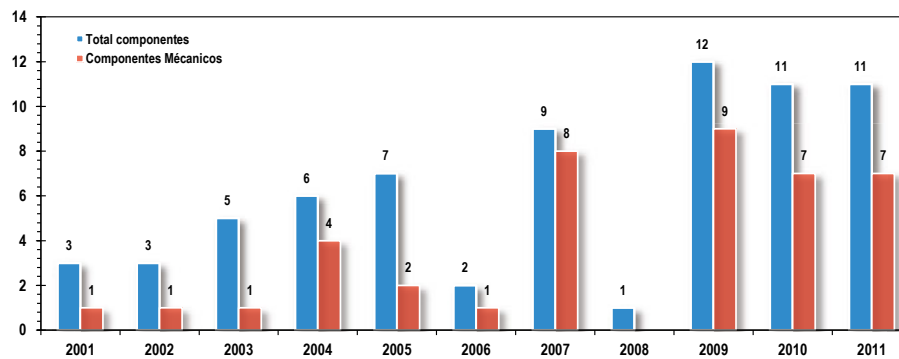
A la hora de efectuar el estudio del porcentaje que ha representado el coste de mantenimiento respecto de la facturación durante la década 2001-2011 (Figura 46), ha de recordarse la existencia de dos períodos claramente diferenciados:

- 2001-2005. Contratos integrales (todo incluido) incluyendo la garantía inicial de los equipos
- 2005-2011. Contratos negociados con cada mantenedor



**Figura 46**  
Porcentaje de facturación destinado a mantenimiento (2001-2011)

En la Figura 47 se ha representado las contingencias totales y las mecánicas (correspondientes a la agrupación: multiplicadora, reductora, corona de orientación y generador) para cada año.



**Figura 47**  
Distribución cronológica de contingencias (2001-2011)

La tendencia en ambas figuras, como era previsible, presenta analogías. La parada de larga duración del parque (ver apartado: Fallo del transformador principal) provocó que tras la nueva puesta en marcha surgiesen numerosos problemas de origen mecánico (reductoras, multiplicadoras, coronas de orientación y generadores) que supusieron un incremento muy significativo en los costes de mantenimiento. En la actualidad, la evolución de las Figuras 46 y 47 parecen indicar que las contingencias provocadas por esta parada han sido absorbidas, recuperando su tendencia anterior a la parada del parque.

Otro factor que también ha contribuido a que el porcentaje destinado a facturación haya aumentado radica en que la producción eólica, y por tanto la facturación, ha descendido en los últimos años respecto a la media, incrementado consecuentemente el valor de la relación coste mantenimiento/facturación.

## 2.5.4 | CONCLUSIONES GENERALES

Como conclusiones generales, que desde nuestra experiencia de una década consideramos más significativas, y atendiendo a diferentes perspectivas y ámbitos enumeramos las siguientes:

### **Punto de vista del mantenimiento y gestión**

- Cualquier actuación de mantenimiento del parque ha de realizarse minimizando el tiempo de parada de la turbina en rango de generación eléctrica
- Las empresas de mantenimiento con una gestión de repuestos centralizada consiguen mejores resultados para el promotor-gestor, acortando el tiempo de reposición de equipos
- Un mayor tamaño de la empresa no necesariamente implica mejor respuesta en el mantenimiento, pues normalmente estas suelen ser más rígidas
- La importancia de una formación adecuada y actualizada del personal de mantenimiento, adaptada a las máquinas que estén manteniendo

### **Punto de vista de la seguridad y ergonomía del operario**

- La disposición de montacargas en los aerogeneradores tiene un impacto positivo, acortando y facilitando las labores de mantenimiento e incrementando la disponibilidad, pues posibilita una mayor frecuencia de las labores de supervisión. Además, están los beneficios obvios para el personal de mantenimiento y disminución de accidentes laborales
- Se ha de profundizar en la prevención de riesgos laborales mediante el establecimiento de protocolos de actuación, así como analizar los accidentes que se produzcan y sacar conclusiones al respecto para evitarlos en el futuro
- Falta de medios materiales y conocimientos de las instituciones responsables de salvamento ante contingencias en aerogeneradores (bomberos, protección civil, personal sanitario, etc.)
- Necesidad de homologación y estandarización de los útiles empleados principalmente para ensamblar grandes componentes, cada mantenedor los realiza y certifica ad hoc

### **Punto de vista del diseño del aerogenerador:**

- La presencia de grúas en la góndola de los aeros facilita las operaciones de mantenimiento y evita el desplazamiento de grúas para elementos de pequeño porte (hasta 500Kg). A modo de ejemplo, la bajada de una reductora (aprox. 180 kg) sin necesidad de grúa externa

- El establecer mecanismos para la extinción de incendios en góndolas reduciría daños materiales y por lucro cesante
- Retroalimentación del diseño original con datos de campo. El tecnólogo debería tener un retorno a través de los informes y apreciaciones del equipo de mantenimiento para mejorar aspectos del aerogenerador a la hora de su explotación (diseño de espacios en góndola, medidas de seguridad, cambio de repuestos, nº de contingencias en componentes, etc.). Por ejemplo: programación del desenrollamiento de los cables de la góndola
- Los diseños de los aerogeneradores, desde la óptica de facilitar el mantenimiento en el conjunto: buje, eje lento, multiplicadora y generador, con espacio suficiente de maniobra reducen los costes de modo significativo. En este sentido, algunos aerogeneradores del parque presentan ciertas carencias
- Los transformadores de los aerogeneradores no están protegidos eléctricamente ante fallos entre los bornes de baja tensión y disyuntor. Una posible solución sería la instalación de un relé de neutro en el transformador que disparase la celda despejando la falta, eliminando la causa de posibles incendios
- La toma a tierra del aerogenerador debería ser continua, comprobable y exclusiva desde el captador de pala hasta la base del fuste. De este modo, ante descargas atmosféricas, se evitarían contingencias más costosas al reducirse el paso de corriente a través de rodamientos, eje principal y partes eléctricas

#### **Punto de vista de la explotación del parque eólico**

- Beneficios de contar con personal propio en el parque con la capacidad de auditar las operaciones del mantenedor
- Es esencial el disponer de una reposición inmediata para los componentes críticos del aerogenerador, bien mediante stock propio o través de una red de gestión de repuestos
- Especialmente relevante es la supervisión remota de máquinas si el personal se encuentra fuera del parque. Se posibilita así que desde el centro de gestión del mantenedor se coordine el desplazamiento de operarios al parque en función de la carga de viento
- Sería deseable realizar un estudio específico de la configuración de la red de tierras del parque para evitar que una descarga en un aerogenerador afecte a todo el parque
- La experiencia en fuertes temporales, a pesar de su excepcionalidad, invitaría a reconsiderar la instalación, en una hipotética fase inicial del parque, de torres soporte en la línea de 132 kV reforzadas ante el riesgo de posibles caídas (coste/riesgo)



- En el sistema de captación han de revisarse periódicamente la presencia de suciedades, erosiones o cualquier elemento que afecte a la aerodinámica de la pala para evitar pérdidas de rendimiento y costes elevados de reparación

#### **Punto de vista general de comunicaciones**

La experiencia nos indica la importancia de poseer sistemas redundantes de comunicaciones del parque con el exterior

Sería deseable disponer de un canal de comunicaciones en estrella (aerogenerador-centro de control-parque) en exclusiva para cada aerogenerador, evitando que una contingencia individual en un aerogenerador afecte a las restantes máquinas

En las circunstancias tecnológicas actuales, es más económico e interesante el disponer de COM mediante WIMAX, 3G, 4G o bien banda ancha por satélite; en caso de no disponer de enlace al ADSL convencional

## **2.6 | Contingencias en una década de explotación**

En los siguientes apartados efectuamos un recorrido histórico por las principales contingencias en las infraestructuras del parque: aerogeneradores, torres anemométricas e infraestructuras de evacuación de energía.

### **2.6.1 | Contingencias en aerogeneradores**

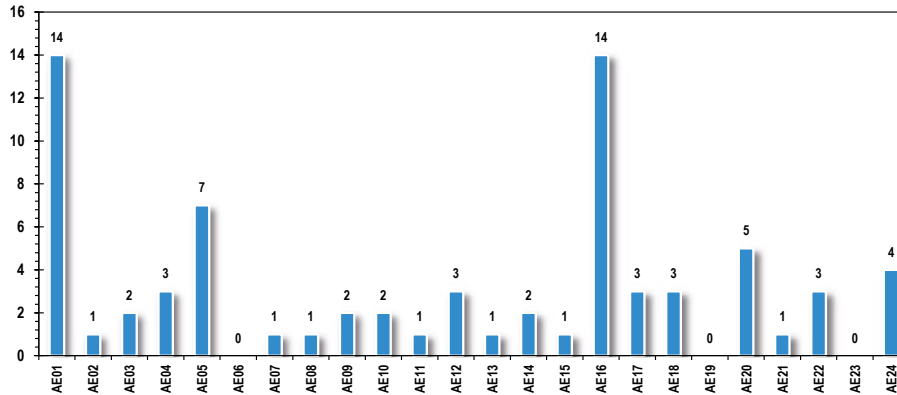
En la siguiente tabla se enumeran cada una de las actuaciones efectuadas en el parque por aerogenerador, elemento afectado, fecha de actuación y tiempo transcurrido hasta el fallo, todo ello para el período 2001-2011.

AERO	ACTUACIÓN	AGRUPACIÓN	FECHA	DÍAS
AE 1	Sustitución de palas	Captación	08/2001	269
	Sustitución cableado eléctrico BT	Cableado	03/2002	465
	Reparación fisuras en palas	Captación	11/2003	818
	Sustitución rodamiento intermedio multiplicadora	Multiplicadora	05/2004	1267
	Sustitución cilindros pala	Captación	05/2004	1273
	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	03/2007	2309
	Sustitución cilindros de pala	Captación	06/2009	1847
	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	05/2010	1154
	Sustitución transformador principal	Trafo	06/2010	3469
	Reparación rodamientos generador	Generador	02/2011	3714
	Sustitución acumuladores palas	Captación	11/2011	4010
	Sustitución ambas reductoras delanteras (2)	Reductoras	12/2011	4035
AE 2	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	06/2011	3853
AE 3	Sustitución reductor orientación	Reductoras	01/2003	768
	Sustitución celda media tensión.	Celda	12/2011	4025
AE 4	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	02/2004	1168
	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	10/2010	2442
AE 5	Sustitución bomba aceite multiplicadora	Multiplicadora	01/2007	2243
	Sustitución multiplicadora, rod gen. y rod principal	Multiplicadora	02/2007	2278
	Sustitución multiplicadora, rod gen y rod principal	Rodamiento pral.	02/2007	2278
	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	09/2009	942
	Sustitución eje principal y rodamiento principal	Rodamiento pral.	09/2009	942
	Sustitución armario ground dañado por uno nuevo	Sist. Elec. Potencia	12/2010	3672
	Reemplazo celda dañada	Celda	02/2011	3714
AE 7	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	03/2011	3742
AE 8	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	12/2010	3666
	Sustitución multiplicadora	Multiplicadora	06/2004	1289
AE 9	Reparación generador proveniente de reparación del AE18	Generador	12/2011	4017
AE 10	Rotura pista interior del rodamiento del eje lento multiplicadora	Multiplicadora	03/2009	3035
AE 11	Comprobación reparación soldaduras bastidor trasero	Bastidor	10/2008	2883

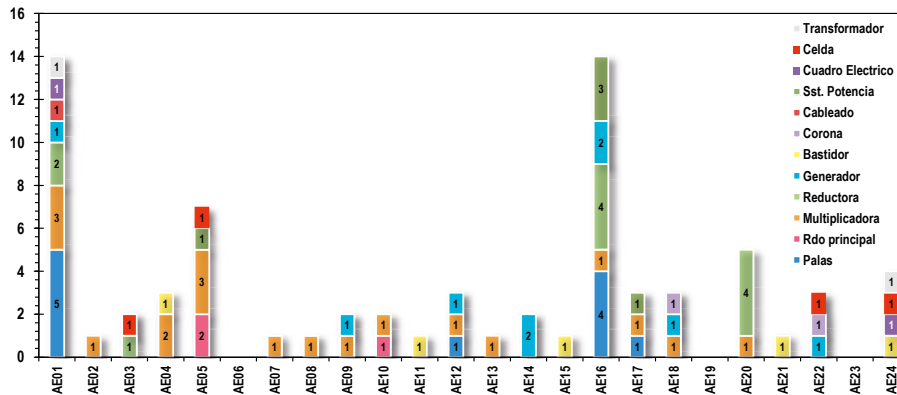
**Tabla 12**  
Histórico contingencias en aerogeneradores (2001-2011)

AERO	ACTUACIÓN	AGRUPACIÓN	FECHA	DÍAS	
AE 12	Sustitución Generador	Generador	04/2001	129	
	Sustitución celda media tensión.	Celda	12/2002	738	
	Sustitución cilindros de las palas	Captación	08/2003	991	
AE 13	Sustitución Multiplicadora	Multiplicadora	03/2005	1580	
	Reparación y montaje multiplicadora	Multiplicadora	01/2011	3686	
AE 14	Sustitución rodamientos del generador	Generador	12/2004	1482	
	Sustitución Generador	Generador	01/2007	2240	
AE 16	Sustitución cilindros palas	Captación	04/2003	859	
	Inversor componentes	Sist. Elec. Potencia	12/2003	1122	
	Inversor componentes	Sist. Elec. Potencia	01/2005	396	
	Sustitución cilindro pala 1, 2 , 3	Captación	05/2005	776	
	Sustitución Generador	Generador	03/2002	455	
	Reparación rodamiento pala 1	Captación	12/2005	1844	
	Reparación multiplicadora	Multiplicadora	12/2005	1845	
	Rodamiento Pala	Captación	12/2005	1845	
	Convertidor de cc por otro ac	Sist. Elec. Potencia	12/2005	337	
	Desplazamiento Generador	Generador	11/2006	2187	
	Sustitución reductoras A y B por rotura	Reductoras	04/2007	2323	
	2ª Sustitución de las reductoras nuevas por rotura	Reductoras	04/2007	2329	
	AE 17	Sustitución pala	Captación	05/2004	1266
		Sustitución Multiplicadora	Multiplicadora	03/2009	3041
Sustitución armario A1 y armario STVG		Sist. Elec. Potencia	11/2010	3643	
AE 18	Sustitución Multiplicadora y corona orientacion	Multiplicadora	01/2010	3335	
	Sustitución Multiplicadora y corona orientacion	Corona	01/2010	3335	
	Sustitución generador	Generador	04/2010	3415	
AE 20	Sustitución 4 reductoras de giro orientación	Reductoras	03/2009	3014	
	Sustitución Multiplicadora	Multiplicadora	01/2010	3336	
AE 22	Sustitución Generador	Generador	04/2009	3045	
	Reemplazo corona orientación	Corona	03/2011	3742	
	Sustitución celda MT por una de 3 salidas	Celda	09/2011	3933	
AE 24	Reparación Chasis góndola	Bastidor	05/2006	1978	
	Sustitución Celda	Celda	09/2008	2832	
	Sustitución Transformador principal	Trafo	01/2010	3338	

De acuerdo a la información contenida en la Tabla 12, y agrupando el número total de contingencias por cada aerogenerador se obtienen las Figuras 48 y 49, en esta última se han desglosado además los fallos por componentes.



**Figura 48**  
Distribución de contingencias por aerogenerador (2001-2011)

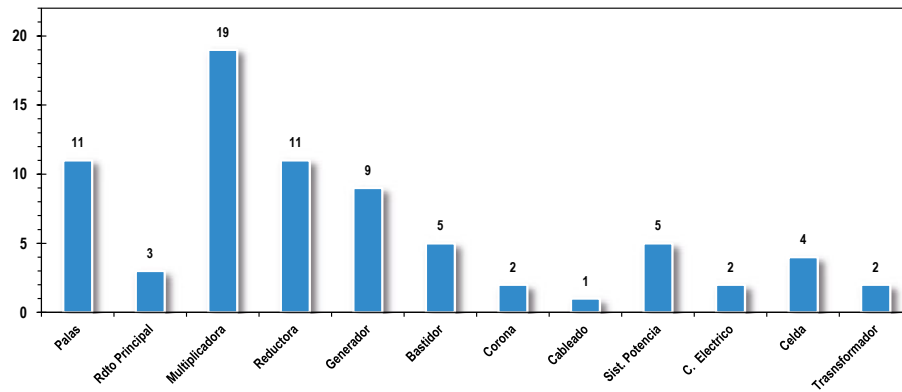


**Figura 49**  
Distribución de contingencias por componente y aerogenerador (2001-2011)

Destaca el número de contingencias para los aerogeneradores AE01 y AE16, ambos con 14, debido a que se tratan de dos de los tres prototipos del parque. Son también relevantes los comportamientos del otro prototipo AE24 en el rango de fallos del resto de máquinas comerciales; así como los AE06, AE19 y AE23 en los que no se ha registrado ninguna contingencia durante el período analizado.

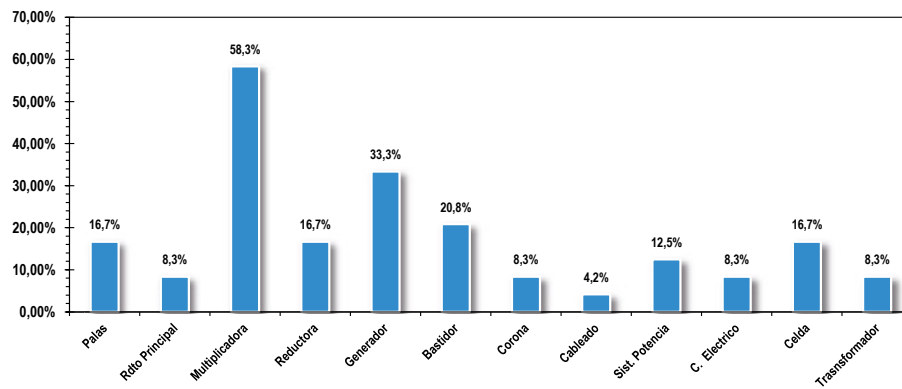
Un nuevo análisis de la Tabla 12, pero desde la perspectiva de las contingencias agrupadas por componentes, sería el que se indica la Figura 50.

**Figura 50**  
 Número total de contingencias por componente (2001-2011)



En la Figura 51 se indica el porcentaje de turbinas que se han visto afectadas por alguna contingencia en sus componentes.

**Figura 51**  
 Porcentaje de aerogeneradores con alguna contingencia en sus componentes



De estas dos imágenes (Figuras 50 y 51) podemos extraer lo siguiente:

- Las multiplicadoras son el componente que ha registrado más fallos, un total de 19, afectando al casi 60,0 % de las turbinas del parque
- Las reductoras de orientación y las palas, con 11 fallos, son los segundos componentes con mayor número de averías; sin embargo estas se localizan únicamente en 4 aerogeneradores (16,7% de las máquinas)
- El tercer componente con más contingencias es el generador con 9, afectando de un modo muy homogéneo a las turbinas (9 fallos repartidos en 8 aerogeneradores, para un total de 33% máquinas afectadas)

Atendiendo a la Tabla 12, la vida media hasta el fallo de los tres componentes (se excluyen las palas) con mayor número de incidencias sería:

- Multiplicadora 6,65 años
- Reductora 6,80 años
- Generador 5,80 años

En febrero de 2008 (ver apartado: Fallo del transformador principal) se dan una serie de circunstancias que desembocan en la avería del transformador de la subestación, ocasionando la contingencia de mayor envergadura sufrida por el parque en esta década y la consecuente parada del mismo durante 12 meses.

Un período de inoperatividad tan largo ocasionó daños en los componentes de los aerogeneradores, principalmente debido a los siguientes motivos:

- Deterioro de elementos electrónicos por humedades y corrosión
- Ausencia de lubricación en componentes mecánicos
- Los esfuerzos variables de viento sobre la estructura inmóvil de las turbinas fueron absorbidos por los elementos mecánicos, en gran medida por la multiplicadora y el sistema de orientación

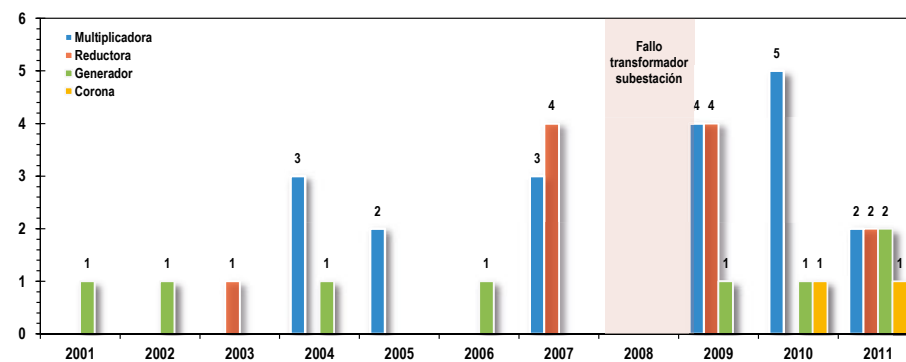
Tras la puesta nuevamente en marcha del parque, en febrero de 2009, el efecto de combinado de las condiciones anteriores desembocó en:

- Multiplicadoras. Rodamientos y engranajes presentaban ausencia de la capa lubricante en las partes altas, llegando a corroerse. En el momento del arranque, este óxido se trasladó a otras partes contaminando el aceite
- Elementos electrónicos. La humedad afectó a componentes electrónicos delicados.
- Transformadores. La presencia de humedad puede ser fatal durante el energizado, al presentarse una disminución de aislamiento. Estas humedades podían afectar irreversiblemente al núcleo y a las espiras del transformador
- Sistema de captación. Las turbinas permanecieron en una posición fija sin poder orientarse para reducir el envite del viento, provocando que las palas estuviesen

sometidas grandes esfuerzos y que estos fuesen transmitidos a la multiplicadora, provocando un mayor desgaste

- Sistema orientación y reductoras. Por la misma razón anterior, durante fuertes vientos las reductoras y la corona de orientación eran sometidas a elevadas solicitaciones, reduciendo su vida útil

En la Figura 52 se muestra la distribución temporal de las contingencias más significativas para los componentes mecánicos. El caso las multiplicadoras pone manifiesto lo comentado anteriormente, concentrándose en los dos años posteriores al fallo del transformador de la subestación casi el 50% del total de las averías registradas en esta década.



**Figura 52**  
Distribución cronológica del número de contingencias mecánicas del parque (2001-2011)

## 2.6.2 Contingencias en torres anemométricas

En la década 2001-2011 se ha producido la caída hasta en tres ocasiones de alguna de las torres meteorológicas del parque. En un principio estas torres eran del tipo arriostradas, pero tras observar su comportamiento, se toma la determinación de sustituirlas por torres tubulares autoportadas, las cuales presentan mayor resistencia frente a los esfuerzos del viento y durabilidad. La Tabla 13 muestra un histórico con las contingencias de las torres.

**Tabla 13**  
Contingencias en torres anemométricas (2001-2011)

TORRE	CONTINGENCIA	FECHA
TAN 06	Caída torre anemométrica	01/2001
TAN 06	Caída torre anemométrica	03/2006
TAN12	Caída torre anemométrica	01/2009
TAN 06	Sustitución torre anemométrica 06	05/2011

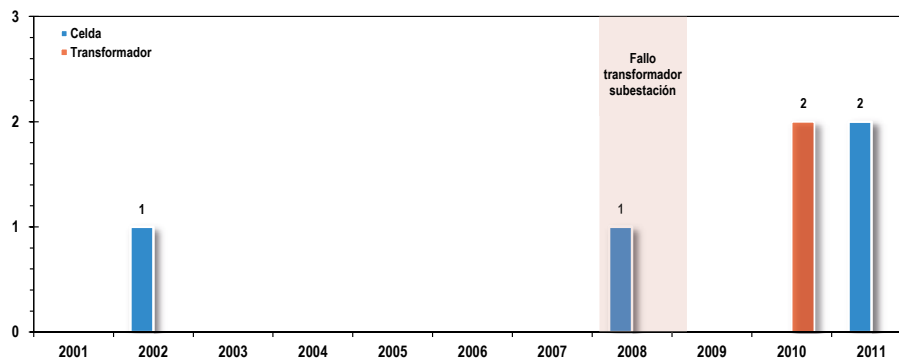
### 2.6.3 | Contingencias en infraestructuras de evacuación de energía

#### LÍNEA DE AEROGENERADORES A 20 KV

La estadística de fallos en la línea de medida tensión (Tabla 12) nos indica que estos suelen localizarse en las celdas de los aerogeneradores, 4 fallos en esta primera década (Figura 53). Aunque las celdas son el elemento más problemático es imposible diagnosticar su estado in situ, pues los ensayos son destructivos. En caso de comportamiento sospechoso, la experiencia nos indica que es mejor decantarse por su reemplazo y envío al fabricante para su evaluación (puede emplear ensayos no destructivos).

Las contingencias en los transformadores de 20/0,69 kV suelen deberse a armónicos o transitorios de la red. Sobre estos componentes si se pueden efectuar ensayos periódicos que establezcan su estado.

En la Figura 53 se muestran las contingencias de celdas y transformadores distribuidas temporalmente, buena parte de la problemática se concentra en el período posterior al fallo del transformador de la subestación (sombreado).



**Figura 53**  
Distribución cronológica de contingencias en celda y transformador (2001-2011)

#### FALLO EN EL TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACIÓN

Como ya se ha comentado brevemente, en febrero del año 2008 se dan una serie de circunstancias que ocasionan el fallo interno del transformador, obligando a su envío al fabricante para proceder a su reparación y provocando la parada del parque durante 12 meses, hasta febrero de 2009.

Las medidas y ensayos posteriores indicaron que el fallo pudo deberse a una descarga atmosférica que dañase el devanado. En los días previos, se había producido robo de parte de la línea de tierra de la subestación, lo que provocó daños en los devanados al no existir otro punto de evacuación. Desde nuestra experiencia, algunas de las posibles medidas a adoptar para evitar las repercusiones que un avería de este calado puede ocasionar pasarían por:



- ▮ Disponer de un sistema que garantice el suministro eléctrico de modo alternativo a las turbinas en caso de avería prolongada, sin el objetivo de realizar generación si no de reducir el deterioro de los componentes, permitiendo por ejemplo orientar la turbina a posiciones más favorables que reduzcan los esfuerzos del viento. Existirían dos posibilidades:
  - Línea auxiliar de 20 kV
  - Sistema de alimentación individual por aerogenerador del tipo: grupo electrógeno más transformador a 690V/1.000V (en función del tipo de aerogenerador)

### **LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE ALTA TENSIÓN 132 KV**

En enero de 2009 el ciclón Klaus dejó ráfagas de hasta 155 km/h en el entrono del parque, en otros puntos de la geografía gallega se alcanzaron valores de hasta 198 km/h, convirtiéndole en el temporal más virulento que ha vivido Galicia desde que existen registros. Las consecuencias en el parque fueron el desplome de cuatro apoyos de la línea de alta de 132 kV.

## **2.7 | Adecuación técnica de las instalaciones del parque a la normativa**

A lo largo de una década de explotación del parque se han ido produciendo cambios en la normativa, que a su vez han implicado cambios en las instalaciones eólicas para adaptarse a las nuevas exigencias.

En este apartado no se pretende analizar la evolución del sistema retributivo (véase capítulo 5), si no resumir y comentar algunas de las implicaciones de la normativa en el Parque Eólico Experimental Sotavento. Bajo esta premisa, y en orden cronológico serían.

#### **REAL DECRETO 2818/1998**

- 1 Establecía el tamaño de las instalaciones eólicas que pueden acogerse al régimen especial, menores de 50 MW.
- 2 Condiciones de conexión y entrega de energía excedentaria a la red general, derechos y obligaciones de estos productores y el contenido mínimo del contrato que deben suscribir con la empresa distribuidora. Prioridad de evacuación para el régimen especial.
- 3 Incentiva el cumplimiento del factor de potencia unitario.
  - » En este período el cálculo del factor de potencia se efectuaba mensualmente.
  - » La eólica no tenía ninguna restricción de acceso al sistema.

#### REAL DECRETO 436/2004

- 1 Se incentiva que las instalaciones eólicas contasen con los equipos técnicos necesarios para contribuir a la continuidad de suministro frente a huecos de tensión, estableciendo el derecho a percibir un complemento específico.
  - » Sotavento solicita la adaptación del procedimiento de verificación y validación contemplado en la normativa, desarrollándose uno específico para el caso particular del Parque Experimental Sotavento (no incluido el caso de parques con aerogeneradores diferentes).
  - » Instalación de sistemas de protección propios a cada modelo de aerogenerador.
- 2 REE elabora un procedimiento de operación en el que se regulen los requerimientos mínimos a cumplir las protecciones de las distintas instalaciones y tecnologías de producción en régimen especial.
  - » El parque se adapta a estos requerimientos a la publicación del procedimiento.
- 3 Obliga a la predicción de producción energética en parques eólicos.
  - » El parque eólico se adapta fácilmente a esta exigencia, pues desde 2002 ya se venían desarrollando proyectos relativos a la predicción de energía.
- 4 Se incentiva a los parques eólicos a entregar la energía en función del factor potencia (cuarto horario) y del período horario en el que se entregue la energía reactiva según tramos horarios.
  - » Desarrollo de algoritmo que maximice el incentivo por reactiva, e instalación adicional de baterías de condensadores en subestación y aerogeneradores. El Parque Eólico Sotavento cumple puntualmente con los requerimientos de factor de potencia, adaptándose a esta exigencia el 01/01/2007.

#### REAL DECRETO 661/2007

- 1 Las instalaciones de régimen especial con potencia superior a 10 MW deberán estar adscritas a un centro de control de generación, que actuará como interlocutor con el operador del sistema, remitiéndole la información en tiempo real de las instalaciones y haciendo que sus instrucciones sean ejecutadas con objeto de garantizar en todo momento la fiabilidad del sistema eléctrico. Condición necesaria para la percepción de la tarifa o, en su caso, prima asignada.
  - » El cumplimiento de este punto supuso para el parque:  
Desarrollo de un sistema propio de envío de datos en tiempo real al centro de control, pues en el parque existían cinco SCADA's diferentes que imposibilitaba la obtención de datos en tiempo real. Este sistema se concluyó en junio de 2007.
- 2 Las instalaciones del régimen especial cuya potencia instalada sea igual o superior a 10 MW podrán recibir instrucciones para la modificación temporal del valor factor de potencia. En caso de cumplimiento de estas instrucciones del operador del sistema, se aplicará la máxima bonificación para el período en que se encuentre y en caso de incumplimiento de las mismas, se aplicará la máxima penalización a dicho período (tabla RD 436/2004).
  - » Sotavento cumple con ésta disposición, el sistema puede recibir consignas de forma instantánea igual que el ajuste de potencia activa.
- 3 Las instalaciones eólicas estarán obligadas a dotarse de los equipos técnicos necesarios para contribuir a la continuidad de suministro frente a huecos de tensión, siendo condición necesaria para la percepción de la tarifa o, en su caso, prima establecida en el presente real decreto, o en reales decretos anteriores vigentes con carácter transitorio.
  - » Las instalaciones del parque se adaptaron a esta exigencia en junio de 2010.

#### REAL DECRETO 1565/2010

- 1 Establece el derecho a una retribución adicional a la del mercado específica para instalaciones experimentales de tecnología eólica en tierra, un máximo de 160 MW para la geografía estatal y en el período 2010-2013 y fija los requerimientos de estas instalaciones.
- 2 Se establecen además distintos requisitos, adscripción al centro de control, protocolo de valoración y seguimiento del carácter experimental a través de los órganos competentes.
  - » Actualmente el parque eólico tiene previsto instalar varias turbinas en el marco de los dos puntos anteriores, en el momento de la redacción del presente documento, el proceso se encuentra en la fase de trámite administrativo.
- 3 Modifica el complemento por energía reactiva. Las instalaciones acogidas al régimen especial les será aplicable un complemento o penalización, según corresponda, por mantener de forma horaria, dentro del rango obligatorio el factor de potencia en determinados valores modificando el protocolo del RD 661/2007 . El incumplimiento de dicha obligación conllevará el pago de la máxima penalización contemplada en el mismo anexo para las horas en que se incurra en incumplimiento. Se establece un mecanismo de revisión del mismo.

#### DECRETO 14/2010

- 1 Medidas corrección del déficit tarifario (cobro de peajes de acceso a red).

#### DECRETO 30/2011

- 2 Establece el procedimiento para la autorización de parques eólicos experimentales con alto componente de I+D+i en la Comunidad Autónoma de Galicia.
- 3 Determina el concepto de Parque Eólico Experimental con alto componente de I+D+i: parque eólico destinado a la realización de pruebas, ensayos, mediciones y experimentación de prototipos eólicos o preseries eólicas. Los prototipos y preseries ensayadas deberán tener una nula o muy reducida implantación en el mundo, y en ningún caso, habrá unidades iguales instaladas en condiciones geográficas o de existencia del recurso energético análogas a las de la localización prevista. En un parque eólico experimental con alto componente de I+D+i no podrá existir más de un prototipo eólico o preserie eólica de las mismas características.

### 2.7.1 | Programa de vigilancia y seguimiento ambiental al parque eólico

De acuerdo a la resolución del 14 de mayo de 1999 de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, que hizo pública la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), resolución por la cual el parque se hace ambientalmente viable, exige el cumplimiento de una serie de especificaciones en diferentes ámbitos:

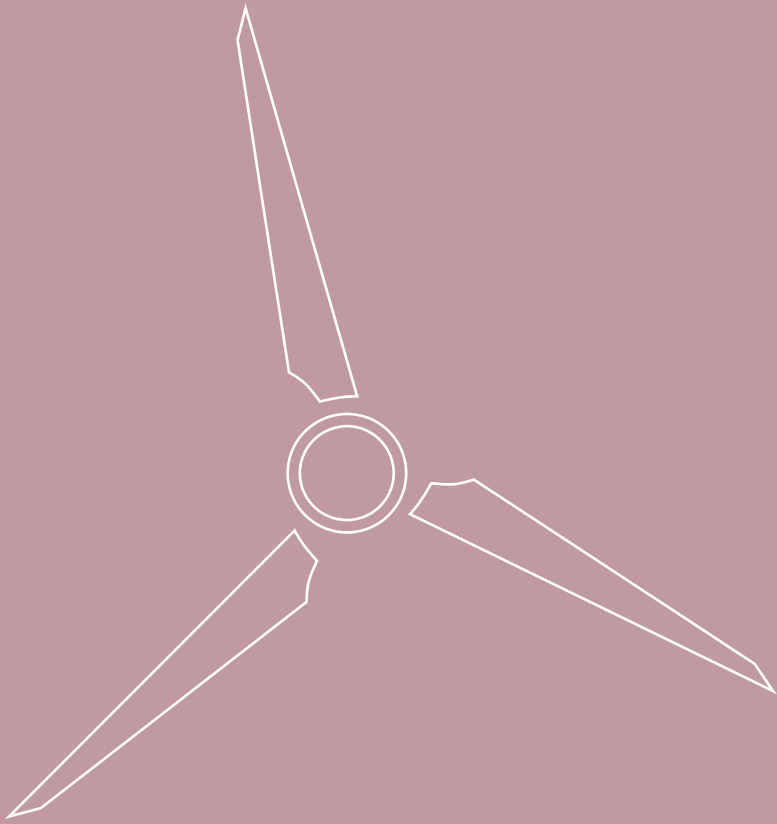
## CONDICIONES GENERALES

- 1 Ámbito Territorial de Actuación
- 2 Protección de la atmósfera
- 3 Sobre la emisión de polvo y gases
- 4 Protección de aguas y lechos fluviales
- 5 Protección del suelo
- 6 Protección de Fauna, Flora y Espacios Naturales
  - 6.1 Sobre la avifauna
  - 6.2 Sobre la vegetación
  - 6.3 Sobre los espacios naturales
- 7 Protección de valores arqueológicos y etnográficos.
- 8 Protección de valores paisajísticos
- 9 Otras medidas
- 10 Recuperación de la situación original tras la fase de explotación

Además de las exigencias anteriores, el parque eólico deberá realizar a lo largo de su explotación un Programa de Vigilancia y Seguimiento Ambiental (PVSA): El objeto del mismo es garantizar el cumplimiento de las medidas protectoras y correctoras contempladas en el estudio de efectos ambientales, así como los condicionantes generales y específicos. De modo general el PSVA se estructura temporalmente del siguiente modo:

FASES DEL PROGRAMA DE VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL	ESTADO
1 Previamente al inicio de las obras.	CONCLUIDO
2 Durante la ejecución de las obras.	CONCLUIDO
3 Al final de las obras.	CONCLUIDO
4 Seguimiento ambiental de carácter semestral, durante los dos primeros años de explotación (Informe tipo A).	CONCLUIDO
5 Seguimiento ambiental, de carácter anual, durante la explotación (Informe tipo B).	EN PROCESO
6 Informe ambiental previo al abandono.	
7 Informe de abandono y clausura de las instalaciones.	

Actualmente el Parque Eólico Sotavento se encuentra en la fase 5, cumpliendo satisfactoriamente cada año las exigencias requeridas.



Experiencia de una década  
de divulgación de energías renovables,  
ahorro y eficiencia energética





### 3.1 | Prólogo

En un mundo caracterizado por el agotamiento de recursos energéticos y por los graves problemas ambientales derivados de un excesivo consumo de energía, parece indicado tratar de tomar conciencia de la necesidad de promover modelos de desarrollo sostenible que ayuden a diversificar las fuentes energéticas a la vez que impulsen el ahorro y el uso energético responsable. Son varias las áreas de actuación en las que se puede y debe incidir para conseguir este modelo deseado. Según la Comisión Europea en materia de Energía “la eficiencia energética es el modo más efectivo en términos de coste de implantación, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”, y “puede considerarse como la fuente de energía más grande que puede tener Europa”.

Los objetivos fundamentales de Sotavento, desde el Plan Educativo-Divulgativo, giran en torno a una Educación Ambiental de calidad, interpretando dicho concepto como la didáctica a través de la cual los individuos toman conciencia de la repercusión de las actividades humanas en el medio, fomentando la reflexión de un uso responsable y eficiente de los recursos energéticos en particular y de los problemas ambientales en general. Siempre encaminado a crear un compromiso individual de participación social, entendemos, como así se promulga desde la Unión Europea, que la Educación Ambiental es un elemento clave para el desarrollo sostenible del Planeta.

La Fundación Sotavento Galicia dispone de un contexto único para llevar a cabo acciones educativas coherentes y contextualizadas al disponer de multitud de instalaciones reales de transformación energética. Para eso, creó y actualmente desarrolla el Plan Educativo-Divulgativo como apuesta de cara a acercar a la población el tema energético desde una óptica objetiva, constructiva y contextualizada. La idea es provocar reflexiones en el público que lo lleven a tomar acciones encaminadas a utilizar de forma racional la energía, al tiempo que pretende dar respuesta a las múltiples dudas en torno a temas energéticos que se nos formulan a diario.

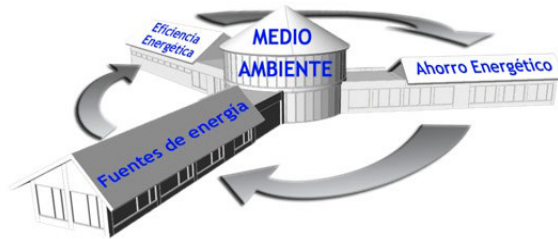
Gracias a este Plan que comenzó en el 2002, la Fundación Sotavento Galicia se convirtió en los últimos años en un referente en la divulgación y educación ambiental a través del fomento de hábitos de consumo de energía sostenibles. Su metodología práctica trata de implicar a los visitantes que diariamente participan en nuestras actividades, en el cambio de conductas que impliquen un mejor aprovechamiento energético. Las fuentes de energía, la apuesta por la eficiencia, el ahorro energético y su interrelación con la problemática ambiental serían, resumidamente, los bloques de contenidos en los que se asienta el proyecto.

Para eso se ponen a disposición gratuitamente, unas instalaciones de primer nivel, que complementadas con el trabajo de un equipo multidisciplinar de medios humanos, posibilitan la implicación y participación del visitante en las actividades técnico-educativo-divulgativas.

La experiencia de la Fundación Sotavento Galicia en esta área está avalada por los más de 180.000 visitantes que ha recibido en sus instalaciones desde el inicio del plan (2002-2011). Abiertas durante todo el año, sus infraestructuras están compuestas por más de 1.000 m<sup>2</sup>



interiores y 40 ha exteriores, situados entre los ayuntamientos de Monfero (A Coruña) y Xermade (Lugo).



El objetivo consiste en facilitar a las personas que nos visitan, la posibilidad de adquirir una mayor sensibilidad, conciencia y capacidad de análisis de la realidad energética que nos rodea, relacionándola con el agotamiento de los recursos energéticos, el bienestar social, el medio y la sostenibilidad. También conseguir actitudes participativas en la protección del medio y la utilización responsable de los recursos energéticos en la vida cotidiana.

## 3.2 | Antecedentes

A finales del año 2001, existían muy pocos centros a nivel estatal dedicados a realizar educación energética. La mayor parte de las acciones educativas que se llevaban a cabo estaban lideradas por empresas privadas y normalmente respondían a alguna necesidad concreta. Se situaban en ámbitos geográficos muy específicos y procuraban conseguir unos resultados cuantitativos amplios a pesar de no tener durabilidad en el tiempo.

Esta situación de partida hizo más complicada la creación y puesta en marcha del Plan Educativo-Divulgativo de Sotavento dado que apenas tuvo referencias o modelos de otras experiencias similares. Lo que sí contaba era con una importante experiencia en el terreno de la educación y del tiempo libre. Es por esta razón que la educación, las actividades lúdicas, las actividades de manipulación y la retroalimentación son, desde el principio, pilares clave en los que se asienta este proyecto.

## 3.3 | Plan Educativo-Divulgativo

### 3.3.1 Introducción

El Plan Educativo-Divulgativo pretende acercar a la población el tema energético desde una óptica objetiva, constructiva y contextualizada. La idea es provocar reflexiones en el público que lo lleven a realizar acciones encaminadas a utilizar la energía de forma racional. Además,

pretende dar respuesta a las múltiples dudas que en torno a cuestiones energéticas se nos formulan a diario.

Puesto en marcha en el 2002, la media anual de visitantes supera a las 20.000 personas. Todos los años varios miles integran las listas de espera por lo que esta cifra podría ser más amplia en el caso de apostar por un modelo basado en datos cuantitativos. Por el contrario, el Plan Educativo-Divulgativo Sotaven10 canaliza sus esfuerzos hacia una actividad de calidad, personalizada y asentada en la evaluación continua de todos los aspectos vinculados a la actividad que desarrolla: instalaciones, educadores, propuestas, actividades, etc.

### 3.3.2 | Objetivos

En este punto debemos diferenciar entre las finalidades del Área Educativa-Divulgativa desde el punto de vista de la institución y los objetivos del propio Plan. Es evidente que ambos están relacionados entre sí. Como finalidades del área destacar:

- ▶ Dotar al Parque de los equipamientos y proyección social necesaria para que sea un centro atractivo e interesante para la población.
- ▶ Facilitar a las personas que lo visiten, la posibilidad de adquirir una mayor sensibilidad y conciencia de la interrelación entre energía, agotamiento de recursos energéticos, bienestar social y medio ambiente.
- ▶ Conseguir actitudes participativas en la protección y mejora del medio, así como en la utilización responsable de la energía en la vida diaria.
- ▶ Proporcionar a los visitantes capacidad de evaluación y análisis de la realidad energética que les rodea, caracterizada por el agotamiento de las fuentes de energía tradicionales y la degradación que generan en el medio.
- ▶ Divulgar las novedades legislativas y avances tecnológicos que se produzcan en el terreno de la producción energética.

En cuanto a los objetivos del Plan Educativo-Divulgativo destacar:

- ▶ Acercar el mundo de la energía a la sociedad, fomentando un conocimiento reflexivo y riguroso acerca de las diferentes posibilidades que nos ofrecen.
- ▶ Servir de apoyo al cometido didáctico realizado en los centros educativos, tanto a nivel formal como no formal.
- ▶ Ser un centro de información para todos los segmentos de la población que tengan interés o intereses en el campo de las energías renovables.
- ▶ Posibilitar que los visitantes adquieran experiencias y conocimientos suficientes para obtener una comprensión crítica y contextualizada de los principales problemas ambientales que genera la intervención humana en medio. El Plan Educativo de Sotaven10, intenta facilitar dicha comprensión, acercando al visitante una muestra de la realidad tecnológica y energética actual.

- Caracterizar las actividades realizadas con aspectos lúdico-formativos, con el fin de motivar y predisponer el aprendizaje.

Los objetivos didácticos se especifican en función de los distintos tipos de colectivos y edades que nos visitan y, evidentemente, en base a los objetivos generales antes descritos.

### 3.3.3 | Metodología

La metodología empleada en Sotavento intenta contribuir a la formación de ciudadanos capaces de desenvolverse de manera hábil, crítica y activa en cuanto a los problemas ambientales que la humanidad provoca. En Sotavento tratamos de transformar la enseñanza en aprendizaje, ofreciendo a los visitantes un espacio de reflexión, análisis y estudio sobre las distintas fuentes energéticas, desarrollo sostenible, etc.

La metodología utilizada persigue favorecer un aprendizaje significativo en los visitantes, adaptando las actividades y explicaciones a sus edades, características, conocimientos previos, inquietudes, etc. En la medida de lo posible la manipulación y experimentación constituyen un recurso fundamental para afianzar y poner en práctica los conocimientos adquiridos. Asimismo, otro aspecto metodológico común a todos los niveles, es el carácter lúdico de las actividades, imprescindible para divertirse durante la visita, pero también para afrontar con una mejor predisposición el aprendizaje de los diferentes contenidos.

Nuestra metodología pretende ser dinámica, abierta y flexible, por lo que tendremos en cuenta el principio de retroalimentación educativa, introduciendo aquellas modificaciones que sean necesarias según los datos acercados tanto por las valoraciones finales realizadas en cada visita, como por las autoevaluaciones efectuadas por parte del Equipo Divulgativo. Dicha metodología estará igualmente presente, tanto en grupos pertenecientes a la educación formal, como en cualquier tipo de visita que acceda a nuestras instalaciones.

La importancia que concedemos a la evaluación hace necesaria un apartado especial que incluimos a continuación.

#### **EVALUACIÓN**

El proceso de evaluación tiene la emisión de emitir un juicio y valor en cuanto a unos criterios establecidos, con la finalidad de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Entendemos que una evaluación rigurosa requiere un tratamiento holístico, donde la interconexión de todos los elementos que forman parte del proceso de aprendizaje permite la adquisición de significados. De esta forma tenemos en cuenta los siguientes elementos:

- Una evaluación ética, donde no solamente se presta atención a los contenidos si no a la coherencia del su orden, la coherencia de las técnicas de transmisión, etc. Siempre teniendo en cuenta los principios didácticos de la institución
- Una evaluación que promueve el aprendizaje autónomo del alumnado, tratando de priorizar la actuación reflexiva de los alumnos mediante una exposición basada en la interacción entre educadores y alumnado

- ▮ Una evaluación heurística, tratando de comprobar la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos
- ▮ Una evaluación horizontal, a través de un cuestionario teórico final en el cual son los propios visitantes los que evalúan tanto la actuación de los docentes como los contenidos, instalaciones y/o coherencia de todo el proceso
- ▮ Una evaluación adaptada, con cuestionarios para las diferentes edades, niveles formativos, tipos de visita, etc
- ▮ Una evaluación inicial a través de la cual comprobamos los conocimientos, expectativas e ideas preconcebidas de los visitantes
- ▮ Una evaluación procesal, mediante las interacciones entre los visitantes y los educadores comprobando así el proceso de asimilación de contenidos y reflexiones personales de los visitantes
- ▮ Una evaluación final, a través de la escucha activa de las reflexiones surgidas tras la visita, así como otras técnicas como los juegos evaluativos en el caso de grupos escolares

De la misma manera concedemos especial importancia a la autoevaluación. Para ello, realizamos puestas en común diarias donde se analizan todos los aspectos que forman parte de la acción educativa, desde los propios contenidos y actividades hasta del conocimiento y experiencias de los educadores.

Igualmente, entendemos que las evaluaciones deben ser flexibles y deben seguir un proceso de adaptación temporal, por lo que intentamos que las reflexiones diarias de los miembros del equipo educativo así como las desinteresadas colaboraciones de los maestros, alumnos y otras visitas que acuden a las instalaciones del parque, sean siempre analizadas con perspectiva práctica.

Existen actualmente en Sotaven siete modelos de cuestionarios evaluativos explícitos que son debidamente revisados y tenidos en cuenta a la hora de realizar las programaciones, actividades, talleres, contenidos, etc. Este proceso se realiza para cada nivel evaluado, obteniendo de esta forma un proceso de comunicación y retroalimentación que permite la mejora constante del proceso de enseñanza- aprendizaje.

La aplicación informática Enquise facilita esta labor evaluativa además de poseer otras completas potencialidades de las que hablaremos más adelante.

## **ORGANIZACIÓN Y PROGRAMACIONES**

Para cada grupo en particular se realizan programaciones específicas basadas en criterios pedagógicos, en la experiencia acumulada y en la retroalimentación con los miles de visitantes que han participado en las actividades. Dichas programaciones son flexibles y se adaptan en cada momento a las expectativas, conocimientos previos y características del visitante.

Durante estos 10 años de funcionamiento del Plan Educativo-Divulgativo se ha realizado la gestión integral de más de 22.500 visitas. El proceso que entendemos como Gestión Integral comprende:



Destacamos de nuevo la aplicación informática Enquise que permite disponer, de una base de datos centralizada que facilita este proceso.

### 3.3.4 | Recursos

La Fundación Sotavento Galicia dispone de un contexto único para llevar a cabo acciones educativas coherentes y contextualizadas en el terreno de la energía, al disponer de multitud de instalaciones reales de transformación energética que citaremos a continuación.

Sotavento completa estos recursos con un equipo multidisciplinar de cinco educadores y educadoras que completan los recursos del centro. Este equipo ha sido el diseñador del Plan y se encarga desde su inicio de la Gestión Integral del Área Educativa-divulgativa de Sotavento bajo la supervisión de la Fundación Sotavento Galicia. Además elabora material didáctico, diseña actividades, realiza informes, publicaciones, exposiciones y realiza estrategias divulgativas para los proyectos de investigación-demostración que lleva a cabo Sotavento. También coordina y contribuye activamente al diseño y puesta en marcha de proyectos demostrativos, aplicaciones informáticas, etc. Por último también se responsabiliza del área de comunicación y relaciones externas del parque. El equipo humano está formado en este momento por cinco personas.

### 3.3.5 | Infraestructuras divulgativas

#### RECURSOS MATERIALES

##### Recursos Materiales

Formado por una gran cantidad de paneles, maquetas, instalaciones reales, material audiovisual y publicaciones; destacan fundamentalmente:

- **Maquetas y Kits Energéticos**

Variado equipamiento que intenta explicar de manera práctica distintos fenómenos energéticos.

- **Instalaciones Renovables Reales**

Las propias instalaciones energéticas existentes forman parte de los recursos educativos con los que cuentan los visitantes. También las instalaciones que forman parte de los proyectos de investigación que se desarrollan en el parque, conforman el material didáctico.

- **Paneles**

Distintos paneles tratan de dar respuesta a cuestiones relacionadas con las fuentes energéticas, con su aprovechamiento, ventajas, inconvenientes, etc.

- **Aplicaciones Informáticas**

De diseño exclusivo y elaboradas en base a la retroalimentación con los visitantes, permiten de forma interactiva acceder a datos en tiempo real, históricos, calculadoras de consumo, extrapolaciones, etc. Existen desde las referidas a eficiencia energética, hasta las que explican funcionamientos de distintos sistemas energéticos, pasando por las destinadas al estudio de determinados procesos energéticos.

- **Material Audiovisual**

Videos de corta duración que explican las energías renovables en general y cada una de ellas en particular.

- **Publicaciones:**

Distintas publicaciones con diferentes temáticas realizadas con el fin de reforzar y facilitar la labor formativa.

- **Talleres**

Otros de los recursos empleados asiduamente que permiten la adquisición de conceptos mediante la manipulación y la experiencia práctica. Están dirigidos a grupos escolares.

- **Juegos Evaluativos**

Profundizando en la versión lúdica de la adquisición de conocimientos, distintos juegos permiten conseguir este objetivo al tiempo que evalúan la eficacia de las propuestas didácticas. Existen juegos evaluativos dirigidos a todos los niveles educativos incluyendo alumnos universitarios.

## **INFRAESTRUCTURAS DIVULGATIVAS**

Como ya hemos comentado, la Fundación Sotavento Galicia dispone de un contexto único para llevar a cabo acciones educativas coherentes y contextualizadas en el campo de la energía, dado que dispone de multitud de instalaciones reales de transformación energética. Estas infraestructuras pueden agruparse en interiores y exteriores. A continuación describiremos algunas de las más significativas.

### **INSTALACIONES INTERIORES**

#### **Aula divulgativa**

Espacio central del edificio, pensado para divulgar las energías renovables entre todos los segmentos de la población. Es un espacio en el que se accede a gran cantidad de información sobre las fuentes de energía renovables desde diferentes ópticas de aproximación. Distintas maquetas, paneles, y aplicaciones informáticas interactivas, ilustran el funcionamiento de estas energías pudiendo, además, ser comparadas con las energías convencionales.

En el mirador, segunda planta del aula, se albergan habitualmente exposiciones temporales y permanentes que apoyan los distintos contenidos que se tratan en Sotavento.

#### **Sala de Eficiencia Energética**

La sala cuenta con aplicaciones informáticas exclusivas, donde el visitante puede comprobar de manera práctica e interactiva distintas medidas de ahorro y eficiencia energética relacionadas con la iluminación, con el uso de los electrodomésticos, con el transporte, el uso del agua, etc.

#### **Sala Multifunción/auditorio**

Se trata de un área de unos 100 m<sup>2</sup> empleada para todo tipo de actividades. Desde actos, ponencias, seminarios e incluso comedor, hasta zona de realización de talleres y experiencias.

#### **Sala de Control**

Es el lugar donde se supervisa la producción y el comportamiento de las distintas tecnologías (enlace a la página de tecnologías de aerogeneradores) de aerogeneradores presentes en Sotavento. También se centraliza la información de los proyectos (enlace a la página de proyectos) que se llevan a cabo en la instalación.

#### **Taller de la Energía**

Pensado para que los visitantes pudiesen observar de forma más directa el funcionamiento de las máquinas. Para ello cuenta con aerogeneradores reales con sus distintos componentes. La zona se completa con instalaciones térmicas y paneles informativos.

## **INSTALACIONES EXTERIORES**

En la zona exterior del Parque, distribuidos en 40 ha, el visitante puede encontrar los siguientes contenidos:

### **Aerogeneradores**

Un total de 24 máquinas, entre las cuales encontramos 9 modelos distintos.

### **Placas solares**

Varias instalaciones reales de diferentes tecnologías tanto térmicas como fotovoltaicas.

### **Zona de Cultivos Energéticos**

Ensayo-demostración de la producción de este tipo de fuente energética, realizada por el Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela y compuesta por distintos cultivos energéticos.

### **Planta de Hidrógeno**

Alberga el proyecto pionero de investigación relacionado con la posibilidad de utilizar hidrógeno para almacenar energía eólica. En el apartado destinado a proyectos de este mismo documento, puede encontrarse más información al respecto.

### **Vivienda Bioclimática Demostrativa**

Como ya hemos dicho anteriormente, se trata de un centro de interpretación de la arquitectura bioclimática, cuya estructura nos muestra las posibilidades reales de un modelo de construcción eficiente.

Este proyecto sirve perfectamente de ejemplo de la idea que pretende llevar a cabo Sotaven10 dado que se ha realizado gracias a una perfecta coordinación interdisciplinar entre arquitectura, ingeniería, informática y pedagogía, lo que permite incidir sobre cada uno de los aspectos importantes de la misma desde diferentes perspectivas. Este hecho ha posibilitado la consecución de una construcción con un marcado carácter demostrativo en el que se aglutinan multitud de elementos constructivos, energéticos, sostenibles y eficientes, con el fin de constituirse en un ejemplo de buenas prácticas. Por otro lado, ha facilitado la creación de una instalación atractiva para toda la población independientemente de sus intereses y formación previa.

La vivienda, acerca al visitante el significado de conceptos bioclimáticos, bioconstructivos y energéticos de una manera empírica, demostrando su funcionamiento y potencialidades. El fin último es que cada persona conozca las posibilidades que ofrecen este tipo de viviendas y su aportación de cara a alcanzar un modelo de desarrollo sostenible en nuestra sociedad.

Otra de las metas perseguidas es la de ofrecer, a determinados sectores, una instalación demostrativa abierta que permita conocer el comportamiento y funcionamiento de esta variedad de soluciones, materiales e instalaciones de tal forma que sirva de herramienta formativa, demostrativa y ejemplarizante.



La vivienda dispone de distintos instrumentos de difusión para conseguir sus objetivos. Los propios materiales, las soluciones constructivas, las instalaciones energéticas y los aislamientos forman parte de estos instrumentos e incluyen cortes y transparencias para que el visitante comprenda mejor su estructura y funcionamiento.

La visita pretende ser un descubrimiento gradual de las distintas estancias que conforman la vivienda, ordenando los distintos contenidos que se presentan al visitante, de lo global a lo específico y viceversa. La idea es facilitar la comunicación y concentrar nuestra atención en distintos aspectos particulares que formarán parte de un todo. Al mismo tiempo, la finalización de la visita nos situará ante un resumen global de todos los elementos del proyecto que, según las experiencias y conocimientos previos, nos situarán ante distintas reflexiones y conclusiones. Todas las estancias disponen de aplicaciones informáticas exclusivas que permiten monitorizar y recoger datos acerca del funcionamiento, rendimientos, etc. de sus elementos. Así mismo, permiten mostrar dichos resultados al público de forma atractiva y adaptada a sus conocimientos previos.

### **El Bosque de las “tarabelas”**

Utilizadas tradicionalmente para proteger los cultivos de las aves.

### **El Bosque de mangas**

Para conocer la fuerza y dirección del viento. En Sotavento tienen hasta 7 m de longitud y sus colores identifican las seis energías renovables.

### **Las “Mámoas”**

9 túmulos o sepulcros propios del período megalítico. Una de ellas fue reproducida para poder visualizar sus partes principales.

### **Ruta del Viento**

Formada por esculturas dispersas a lo largo de las 50 Ha del parque, todas ellas relacionadas con el viento. Están constituidas por piezas de residuos de la mina y de la central térmica de As Pontes (canalizaciones de presión, silos de carbón, etc.). El colorido presente en las esculturas representa, como en el caso de las mangas, las seis fuentes de energía renovables.

### **Ruta de las Piedras**

Durante el recorrido podemos ver la riqueza geológica gallega en una exposición permanente y única de las piedras más representativas de la geología gallega, realizada por el Museo de Historia Natural “Luis Iglesias” de la Universidad de Santiago de Compostela y que dispone de guías educativas realizadas en colaboración con la Facultad de Pedagogía de la misma universidad.

### **Ruta del Quijote y el Viento**

Con motivo del IV Centenario del Quijote nace esta ruta que pretende homenajear la obra y a su autor en general y, en especial, los capítulos en los que el viento tiene protagonismo. En

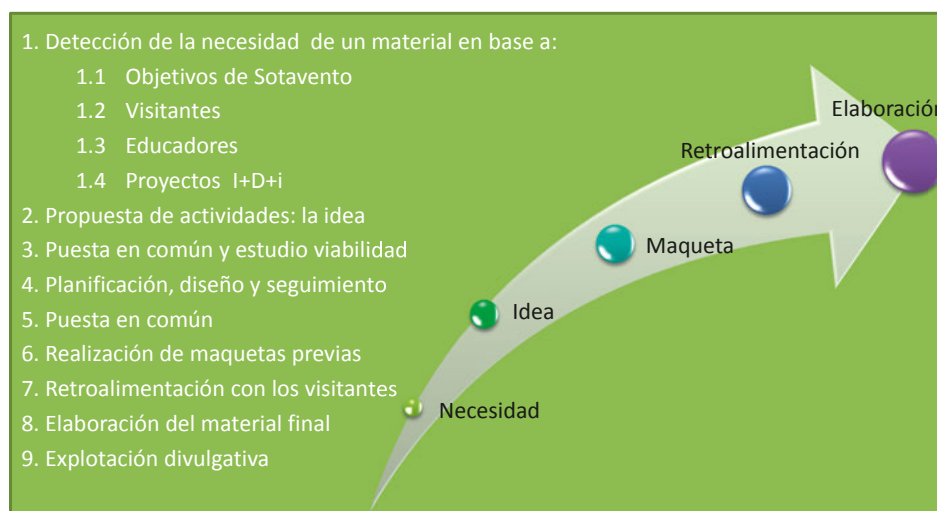
cada una de las máquinas del parque se puede observar una viñeta y una figura que ilustran diferentes pasajes de la obra de Don Miguel de Cervantes. Las ilustraciones tienen más de veinte metros de altura.

### 3.4 | Plan divulgativo y trayectoria de una década

Se realizará a continuación un breve repaso por las iniciativas, actividades, acciones, eventos y trabajos en general que se han venido realizando al amparo del Plan Educativo-Divulgativo Sotavento en su primera década de funcionamiento.

#### 3.4.1 | Creación de material didáctico

La creación de dicho material responde fundamentalmente a la escasa existencia del mismo a nivel comercial. Esta situación unida a los criterios exigentes de calidad que preside el Plan Educativo-Divulgativo, su originalidad y su objetivo de personalización, han supuesto la creación de la mayoría del material con el que contamos a nivel técnico, didáctico y divulgativo. Para su elaboración también ha sido fundamental la retroalimentación con los visitantes. El proceso de elaboración de este material tendría las fases que se incluyen en el cuadro siguiente:



**Figura 54**  
Cuadro conceptual, creación de material didáctico

#### PUBLICACIONES

Con el fin de reforzar y facilitar la labor formativa, algunas de las creaciones llevadas a cabo por el Plan Divulgativo de Sotavento han sido:

- ▶ Guías didácticas de primaria y secundaria. Con ellas se pretende establecer la vinculación didáctica entre la visita al Parque y los objetivos propuestos por los actuales programas educativos
- ▶ Papaventos con historia. Este documento, intenta acercarnos al apasionante y desconocido mundo de las cometas, así como ayudarnos a comprender las bases científicas de distintos fenómenos relacionados con el viento. Se completa con la exposición del mismo nombre desarrollada íntegramente por el Departamento Educativo-Divulgativo
- ▶ Guía del consumidor eficiente. Tríptico informativo cuyo objetivo es concienciar al visitante de un consumo energético responsable
- ▶ “A enerxía ao redor de ti”. Esta publicación intenta descubrir de manera práctica, cuales son los recursos energéticos disponibles en el Planeta, cómo funcionan los distintos sistemas para su aprovechamiento, que problemas se derivan de su utilización y cómo podemos y debemos actuar para mitigar sus consecuencias
- ▶ Energías renovables y tradición. Se trata de una publicación donde se realiza una visión retrospectiva y comparativa, entre las fuentes de energía tradicionales y la realidad energética actual
- ▶ “Ruta das Pedras”. Manual que facilita el recorrido por esta singular Ruta; elaborada por el museo de Historia Natural y cuyas características la hacen única en Galicia. Incluye Guías Didácticas elaboradas en colaboración con la Facultad de Pedagogía de la misma universidad
- ▶ “Muíños do Mundo”. Esta publicación pretende mostrar, de forma divulgativa, las principales características y evolución del funcionamiento de las máquinas eólicas desde la antigüedad hasta nuestros días, y también ayudarnos a tomar conciencia de la enorme capacidad humana para crecer tecnológicamente en períodos relativamente cortos de tiempo. Se apoya en la exposición del mismo título realizada íntegramente por el Departamento Educativo-Divulgativo

Además de realizar publicaciones propias, se ha participado activamente en la elaboración de contenidos para libros de texto de distintos niveles para diferentes editoriales, así como singulares estudios científico-divulgativos acerca de las potencialidades de la bicicleta eléctrica, el vehículo eléctrico, la bioclimática, junto con diversos informes y proyectos.

### **APLICACIONES INFORMÁTICAS**

En la actualidad, los sistemas educativos de todo el mundo se enfrentan al desafío de utilizar las tecnologías de la información y la comunicación con fines didácticos. La aplicación de las TIC tiene una serie de ventajas evidentes, como la posibilidad de interacción que ofrecen, la creación de nuevos escenarios de aprendizaje, y además, facilitan el acceso a más personas y de manera más personal y fácil.

En base a esto, el Plan Educativo-Divulgativo de Sotavento ha participado y coordinado la realización de una veintena de aplicaciones informáticas adaptadas a la peculiaridad de nuestros contenidos.

- ▶ Aplicaciones centradas en el estudio de distintos sistemas relacionados con la eficiencia energética: sistemas de iluminación, cuantificación de consumos ocultos y en espera, elección de electrodomésticos más eficientes, consumo de agua, etc. Incluyen la posibilidad de realizar extrapolaciones, calcular consumos, visualizar históricos, etc.
- ▶ Aplicaciones que tratan de explicar fenómenos y funcionamientos de proyectos de investigación, como la realizada para la divulgación del Proyecto de Generación y Acumulación de Hidrógeno con Energía Eólica o la diseñada para el proyecto demostración de distintas tecnologías de generación y seguimiento solar
- ▶ Aplicaciones realizadas para visualizar y comprender el funcionamiento, características, producción, etc., de distintas instalaciones renovables existentes en la Vivienda Bioclimática Demostrativa, tanto de generación de electricidad, como de climatización activa y pasiva
- ▶ Aplicaciones que facilitan la gestión integral de las visitas que hemos comentado en apartados anteriores. En este capítulo destacamos la aplicación informática Enquise desarrollada íntegramente en Sotavento. Se trata de una herramienta fundamental para llevar a cabo la correcta gestión de los visitantes. Dispone de una base de datos, alimentada por las valoraciones, evaluaciones y opiniones tanto de los propios visitantes como del equipo didáctico. El programa también posibilita la elaboración de completos informes con datos cualitativos y cuantitativos referidos al número de visitas, opinión por colectivo, estadísticas, etc., lo que redundará en una mayor personalización de las actividades. Otra de las potencialidades de la aplicación es la auditoría por parte de la dirección de la Fundación Sotavento Galicia del desarrollo del Plan Educativo-Divulgativo

### **ACTIVIDADES LÚDICO EVALUATIVAS PROPIAS**

Como se ha comentado en apartados anteriores, el Plan Educativo ha contemplado, durante estos diez años, las actividades lúdicas como elemento motivador y evaluador fundamental dentro del mismo, de ahí la creación de diferentes actividades de este tipo. Sus características principales son:

- ▶ Son actividades lúdicas pero con un fin formativo y evaluador
- ▶ De elaboración propia, originales y novedosas
- ▶ Son actividades de reflexión, de deducción, a través de las cuales, se potencia la consecución de los objetivos didácticos de forma amena
- ▶ Están sujetas a actualización y evaluación contantes

## EXPOSICIONES

Desde el año 2002 se han venido realizando distintas y variadas exposiciones, con el fin de aportar complementos interesantes a las actividades educativas llevadas a cabo en esta instalación. Estas muestras contribuyen a la explicación de ciertos fenómenos importantes o relacionados con los objetivos didácticos del parque y tienen, en función de su interés o de nuestras posibilidades, un carácter temporal o permanente.

Estas exposiciones, que superan la treintena, han sido cedidas por diferentes entidades, elaboradas por el Área de Divulgación del parque o conformadas con material procedente de concursos o certámenes convocados desde Sotavento.

### 3.4.2 | Otros materiales didácticos

Además de los ya mencionados, se han realizado multitud de materiales difíciles de clasificar y bien valorados por docentes y discentes. Lo conforman distintas maquetas que intentan explicar determinados fenómenos: rotor Savonius, rotor multipala, efecto fotovoltaico, ley de ohm, solar térmica, energía nuclear, etc., pequeños vídeos, presentaciones monográficas, demostraciones prácticas e incluso un herbario donde se incluyen las especies vegetales estudiadas en el ensayo demostración de cultivos energéticos al que ya nos hemos referido anteriormente. También se ha de incluir en este apartado la elaboración de esquemas de funcionamiento, trípticos, paneles interpretativos etc. Muchos de ellos han sido reproducidos por docentes de primaria y secundaria para su uso en los centros escolares e incluso alguna universidad ha solicitado la cesión de materiales para reproducirlos y utilizarlos en exposiciones y actividades propias.

### 3.4.3 | Eventos

A lo largo de estos años se han realizado diversas actividades, enmarcadas dentro de la conmemoración de jornadas de carácter internacional. Estos eventos cumplen con el fin de dar a conocer las actividades que realiza Sotavento fuera de nuestras fronteras. También persiguen llegar a un mayor número de población aprovechando las herramientas mediáticas que ofrecen las entidades que las organizan. Algunos de los más significativos han sido:

- ▶ Día Mundial de la Eficiencia Energética
- ▶ Día Mundial de la Tierra
- ▶ Día Solar Europeo
- ▶ Día Mundial del Viento
- ▶ Día Mundial del Agua
- ▶ Día Mundial de la Energía
- ▶ Jornadas Energéticas en Familia
- ▶ Semana Solar Europea

- ▶ Semana Europea de la Movilidad
- ▶ Semana de la Ciencia
- ▶ Semana Forestal Internacional
- ▶ Semana de Ciencia y Tecnología

### 3.4.4 | Actividades formativas

Dentro de este apartado, además de las actividades educativas llevadas a cabo a diario con los visitantes que se acercan a nuestras instalaciones, se han de destacar:

- ▶ Conciertos existentes con distintas universidades para la realización de prácticas relacionadas con actividades educativas: Facultad de CC de la Educación, Sociología, etc.
- ▶ Formación del profesorado de todos los niveles a través de actividades directas del parque o en ponencias a través de centros de formación del profesorado, asociaciones de pedagogos, universidades, cursos, etc.
- ▶ Formación de educadores ambientales, bien a través de la realización de sus prácticas en nuestras instalaciones, con actividades formativas desarrolladas en el parque o a través de charlas y ponencias en distintos cursos
- ▶ Colaboración con distintos programas educativos y formativos tanto autonómicos como estatales e internacionales: Proyecto Comenius, Leonardo, Rutas Científicas, etc.
- ▶ Actividades de autoformación continua del personal del departamento como parte de su rutina y responsabilidad laboral. Fundamentales para mantener los criterios que calidad que el Plan Educativo-Divulgativo se exige

### 3.4.5 | Resultados

Incluiremos, en este apartado, un breve apunte de los resultados cuantitativos más significativos obtenidos en el desarrollo de los 10 primeros años del Plan Educativo-Divulgativo. Se han extraído de la aplicación informática Enquise antes mencionada.

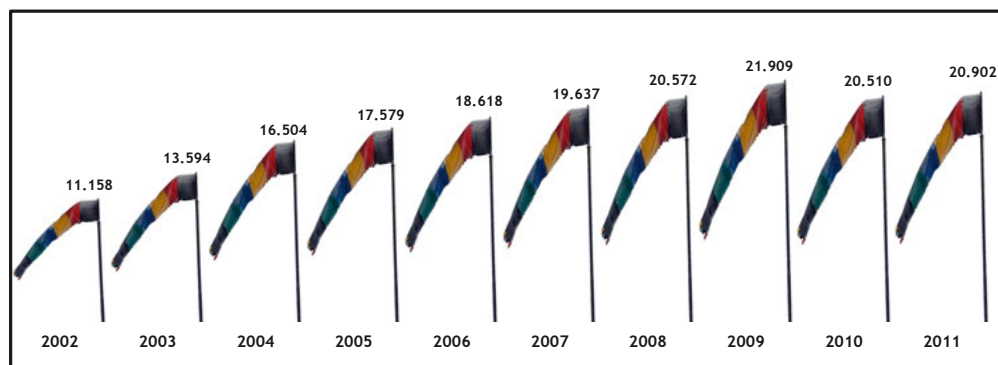
#### **Datos destacables:**

- ▶ Más de 180.000 visitantes acumulados: Esta cifra podría ser mayor dado que la lista de espera media anual la conforman 5.000 personas
- ▶ La potenciación de la calidad frente a la cantidad reduce la cifra total de visitantes que, pese de todo, se sitúa en más de 50 personas de medida al día incluyendo para su cálculo fines de semana y festivos
- ▶ La nota media de las valoraciones realizadas por los participantes en las actividades superiores al notable

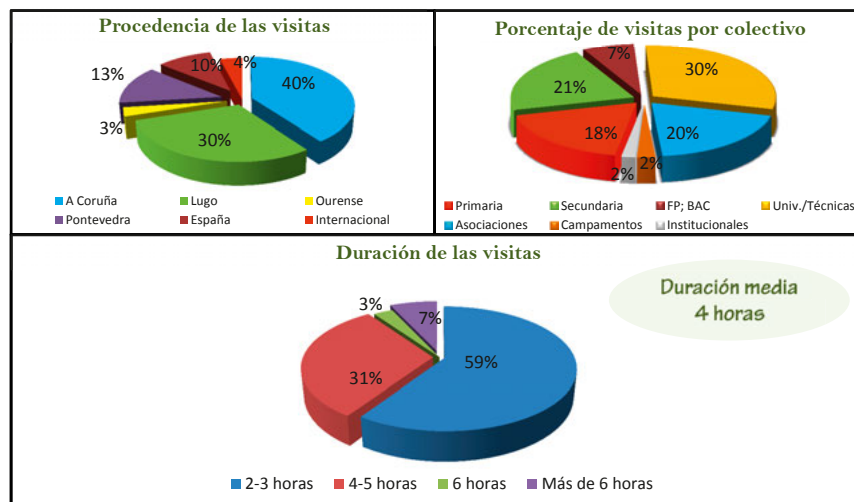
**Tabla 14**  
 Resumen de los resultados  
 valorativos

COLECTIVOS	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Media
<b>Profesores/as</b>	9,2	9,1	9,3	9,4	9,6	9,5	9,6	9,5	9,6	9,6	9,44
<b>Alumnos ESO</b>	9,4	9,5	9,4	9,2	9,2	9,1	8,9	9,1	8,86	8,99	9,17
<b>Alumnos 1<sup>a</sup> (*)</b>	97%	99%	98%	99%	99%	99%	99%	96%	96%	97%	98%
<b>Técnicos/ Universitarios/FP</b>	9	9,1	9,4	9,2	9	9,2	9,4	9,2	9,48	9,4	9,24
<b>Asociaciones</b>	9,5	9,4	9,7	9,7	9,9	9,2	9,6	9,6	9,6	9,38	9,56
<b>Visitantes Esporádicos</b>	9,5	9,8	9,7	9,7	9,7	9,8	9,4	9,3	9,1	9,27	9,53

(\*) Los porcentajes de los alumnos de primaria se refieren a la respuesta: me ha gustado mucho. La valoración numérica se refiere al intervalo del 1 al 10.



**Figura 55**  
 Evolución del número de  
 visitas



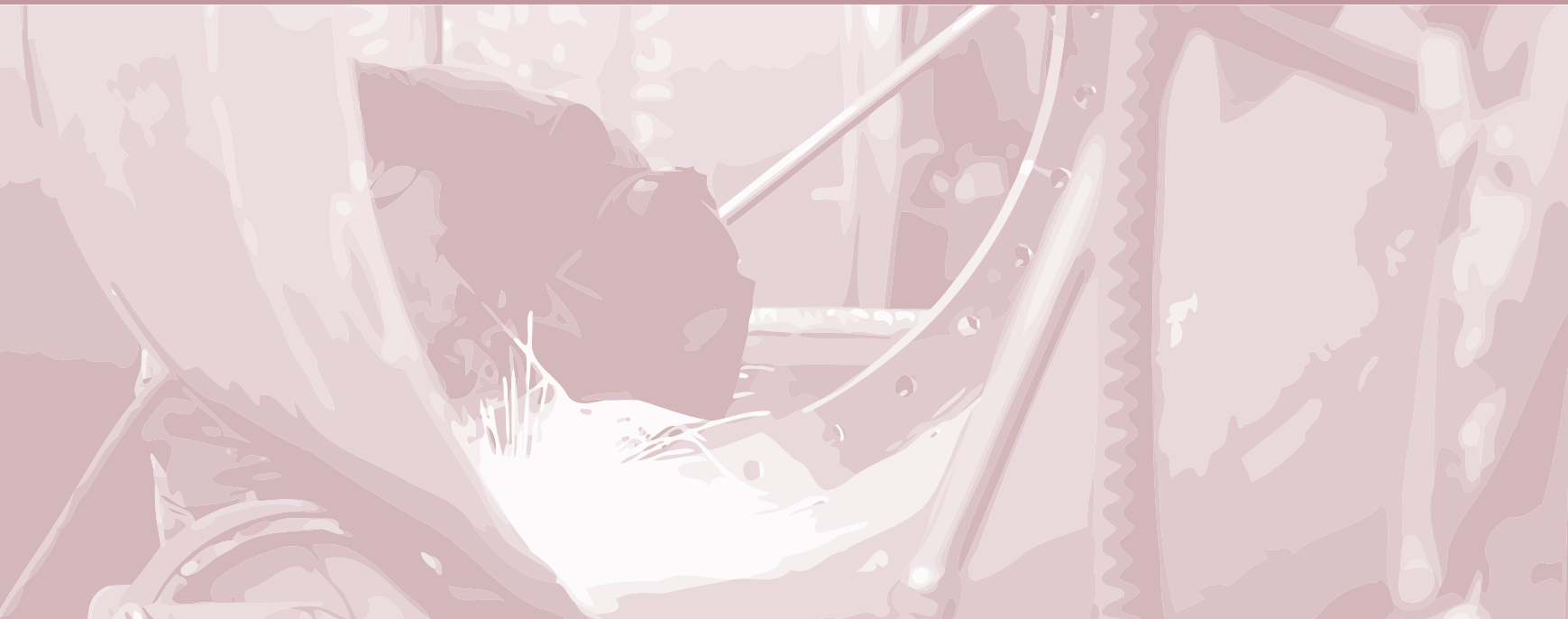
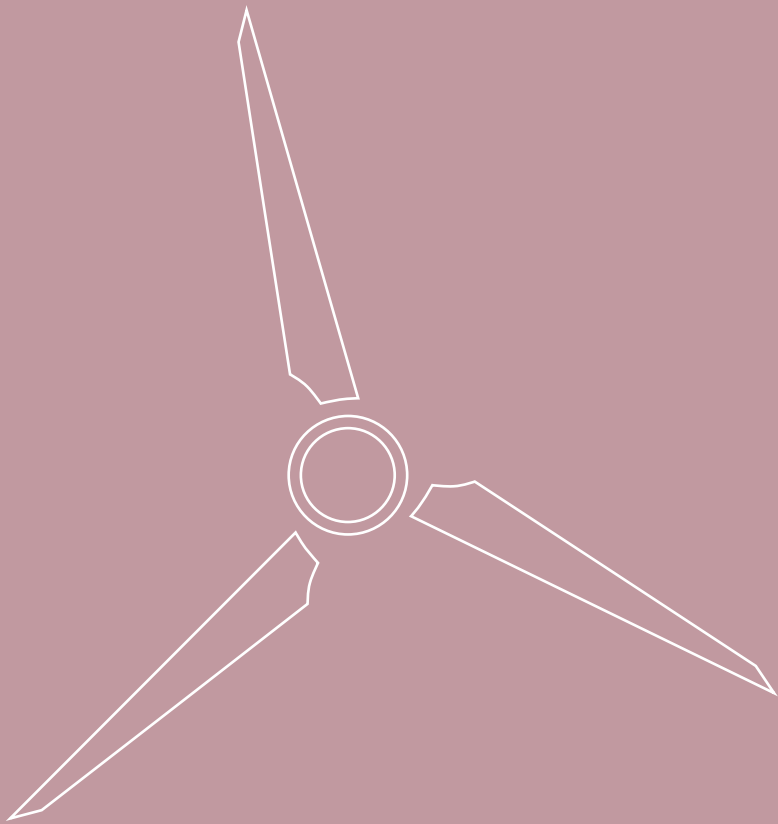
**Figura 56**  
 Procedencia, colectivos y  
 duración de la visita

### 3.5 | Conclusiones

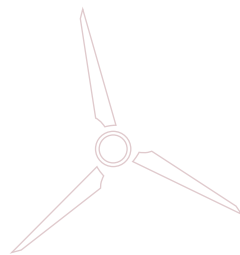
Resumidamente, alguna de las conclusiones a las que hemos llegado en esta primera década de desarrollo del Plan Educativo-Divulgativo Sotavento han sido:

- No existían referencias previas de un proyecto similar o eran realmente escasas
- La experiencia acumulada permite que Sotavento convertirse hoy en un referente a nivel nacional en la puesta en marcha de proyectos similares.
- La madurez y originalidad, permite que tenga unas potencialidades importantes no solo en el campo de la divulgación, educación ambiental y energética sino también en la creación de material didáctico y divulgativo que podrían ser extrapolables a otros espacios y ámbitos
- La retroalimentación ha demostrado ser un factor clave del éxito del Plan Educativo-Divulgativo así como la personalización de las actividades. Es por tanto fundamental el trabajo de los educadores
- La imaginación, la formación continua, el trabajo en equipo, la auto exigencia, la implicación y la motivación también forman parte de los pilares del Plan. Su eficacia e idoneidad ha sido demostrada a lo largo de estos 10 años a través de las actividades realizadas y de sus valoraciones
- Las distintas administraciones y coyunturas económicas han influido e influyen decisivamente en el desarrollo del proyecto así como la opinión preconcebida que, sobre las energías renovables, existe en la sociedad





Proyectos  
desarrollados  
en Sotavento





## 4.1 | Introducción.

Uno de los objetivos de Sotavento es la promoción y realización de proyectos de investigación, experimentación y demostración en el campo de las energías renovables. Estos estudios se llevan a cabo con el fin de promocionar y optimizar el uso de este tipo de fuentes. El mecanismo que da origen a los proyectos pretende dar respuesta principalmente a los siguientes puntos:

- ▶ Resolver problemáticas del sector de las energías renovables. El sistema de generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno constituiría un ejemplo de proyecto concebido con esta pretensión
- ▶ Preguntas o propuestas, planteadas desde organismos, universidades o los propios visitantes del parque. Como ejemplo, la vivienda bioclimática demostrativa

## 4.2 | Monitorización instalación solar térmica

### 4.2.1 | Antecedentes

El Parque Eólico Sotavento tiene en funcionamiento desde el año 2003 una instalación de energía solar térmica para producción de ACS y como apoyo a calefacción. En el año 2004 y en el marco del presente proyecto, se monitorizan las variables que describen su comportamiento para proceder a su estudio.

### 4.2.2 | Entidades colaboradoras

Proyecto ha sido desarrollado íntegramente por la Fundación Sotavento Galicia.

### 4.2.3 | Objeto

Desde el punto de vista técnico, el proyecto pretendía servir de base para el analizar el comportamiento de instalaciones solares térmicas, empleándose para ello diferentes criterios:

- ▶ Balance de energía térmica aportada y consumida
- ▶ Rendimiento de colectores solares
- ▶ Históricos y gráficas de evolución

### 4.2.4 | Instalaciones y desarrollo

La instalación está destinada a la producción de ACS y apoyo al sistema de calefacción mediante bomba de calor que emplea como emisores suelo radiante en la sala de control y aerotermos en la zona de taller.

Sus características principales son:

- ▶ Orientación Sur (180°), inclinación 45°

- ▶ Superficie de captación solar: 8 m<sup>2</sup>
- ▶ Volumen acumulación solar: 500 litros

La metodología del proyecto ha abarcado las siguientes fases:

- ▶ Definición de variables a controlar
- ▶ Definición de sensores de medida
- ▶ Definición de señales
- ▶ Instalación de sensores
- ▶ Elaboración de protocolo ante alarmas y almacenamiento en base de datos
- ▶ Programación en LabVIEW, registro y visualización de variables históricas en intervalos diezminutales, estados de funcionamiento, alarmas, etc.
- ▶ Puesta en marcha: verificación de medidas de sensores correctas, arranques y paradas de bombas según programación, etc.

#### 4.2.5 | Experiencia y conclusiones

Desde diciembre de 2004 y hasta noviembre de 2006 el sistema estuvo operativo, controlándose la instalación a través de un SCADA específico que permitía la obtención de informes históricos relativos al rendimiento. Actualmente la instalación continúa en funcionamiento generando ACS y calefacción para determinadas zonas del edificio.

#### 4.2.6 | Situación actual

El proyecto se ha dado por concluido.

### 4.3 | Monitorización de instalaciones eléctricas fotovoltaicas

#### 4.3.1 | Antecedentes

En la última década se ha vendido dando un incremento en el uso de las fuentes de energía renovables en general y de la solar en particular. Desde la Fundación Sotavento Galicia, este proyecto ha sido elaborado como un análisis de las distintas tecnologías fotovoltaicas del mercado en el momento de su realización.

#### 4.3.2 | Entidades colaboradoras

El proyecto ha sido desarrollado íntegramente por la Fundación Sotavento Galicia.

### 4.3.3 | Objeto

El principal objetivo era realizar una comparativa de la generación de energía eléctrica entre sistemas fotovoltaicos fijos y móviles, verificando la incidencia en la generación de los seguidores solares en la zona geográfica en la que se encuentra el parque. Los sistemas analizados en este proyecto han sido:

- ▶ Instalación fija
- ▶ Instalación con seguidor solar a un eje
- ▶ Instalación con seguidor solar a dos ejes

Otro de los objetivos era la difusión de los resultados de forma sencilla e interactiva, creando para ello una aplicación informática donde se expusiesen los datos instantáneos e históricos de las tres instalaciones: producciones, rendimientos, emisiones de CO2 evitadas, costes, etc.

### 4.3.4 | Instalaciones y desarrollo

Se han empleado los siguientes sistemas fotovoltaicos:

- ▶ Instalación fija, sin seguimiento solar, con inclinación de 35 ° sobre el suelo y orientada al Sur
- ▶ Seguidor a un eje, con orientación Este-Oeste e inclinación permanente de 35° sobre el suelo, con calendario astronómico. La electricidad para el motor de orientación se proporciona mediante una batería alimentada por la propia instalación
- ▶ Seguidor a dos ejes, con orientación Este-Oeste e invierno-verano, con prismas que detectan la posición del Sol. La electricidad que necesita el motor de orientación es suministrada por la red

Las tres instalaciones constan de 15 paneles fotovoltaicos policristalinos de 120 Wp cada uno. La potencia total instalada en paneles en cada instalación suma 1800 Wp.



**Figura 57**  
Instalaciones fotovoltaicas  
del Parque Eólico  
Experimental Sotavento

#### 4.3.5 | Experiencia y conclusiones

Las conclusiones obtenidas en el proyecto nos indican lo siguiente:

- ▶ Las instalaciones con seguimiento solar presentan mayor producción que la fija, sin embargo esta diferencia no es suficiente para compensar la inversión económica inicial en los seguidores
- ▶ Para una ubicación como la del parque, la exposición al viento de las estructuras soporte y de seguimiento de las instalaciones fotovoltaicas repercute negativamente en los mismos, ocasionando averías y los consecuentes gastos en mantenimiento
- ▶ La instalación fija ha sido la instalación que mejor rentabilidad ha presentado durante la duración del proyecto, aunque su producción es inferior, pues a diferencia de las instalaciones con seguimiento no se han registrado contingencias significativas.

#### 4.3.6 | Situación actual

El proyecto ha finalizado en el año 2008. Actualmente las instalaciones se encuentran en funcionamiento y conectadas a la red.

## 4.4 | Vivienda bioclimática demostrativa

### 4.4.1 | Antecedentes

En el año 2004, el Parque Eólico Experimental Sotavento cumplía su segundo año como centro de divulgación. Por aquel entonces, cerca de unas 40.000 personas habían visitado las instalaciones y participado en las actividades que el Plan Educativo-Divulgativo Sotavento ofertaba. Al finalizar su visita, un amplio porcentaje de los visitantes sugerían en sus valoraciones la ejemplificación sobre casos más cercanos.

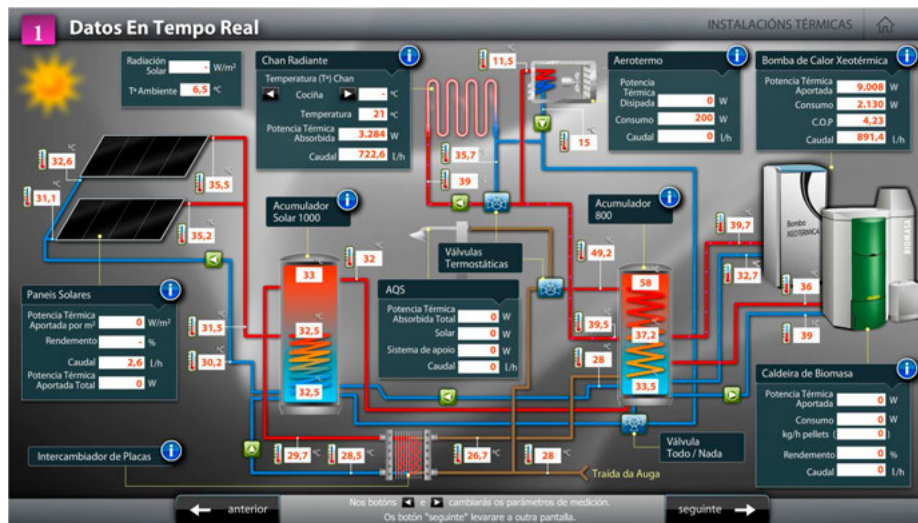
El Parque Eólico Sotavento decide dar un paso más en el equipamiento ofertado implementado una instalación que, desde un perspectiva próxima al visitante, ejemplificase las posibilidades reales que ofrece el bioclimatismo en la construcción de edificios.

### 4.4.2 | Entidades colaboradoras

El proyecto ha sido financiado por la Fundación Sotavento Galicia, la Consellería de Economía en Industria de la Xunta de Galicia, y el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto ENVITE.

### 4.4.3 | Objeto

El principal objetivo es mostrar los fundamentos de las construcciones bioclimáticas y ejemplificar algunos de los diferentes mecanismos existentes actualmente para el ahorro basados en la eficiencia energética, transmitiéndose de una manera sencilla y analizándose su repercusión el medio ambiente.



**Figura 58**  
Pantalla divulgativa  
instalaciones térmicas  
vivienda bioclimática



#### 4.4.4 | Instalaciones y desarrollo

Para lograr el objetivo anterior se realiza un recorrido guiado sobre siguientes aspectos de la vivienda:

- ▶ La importancia de la ubicación, orientación, medidas pasivas y la forma del edificio para controlar las fuentes y sumideros de energía del ambiente
- ▶ La utilización de materiales naturales y locales que minimicen la huella ecológica de la construcción
- ▶ La optimización y gestión de la luz solar en verano y en invierno
- ▶ Incidencia de las propiedades térmicas de los materiales de construcción empleados
- ▶ Instalaciones de generación de energía eléctrica y térmica para consumo en la vivienda
- ▶ Mecanismos de ahorro de la vivienda: tipo de electrodomésticos, clases de iluminación, gestión del agua, etc.

La vivienda posee unos 240 m<sup>2</sup> que teniendo en cuenta el clima y las condiciones del entorno, utiliza su diseño y los propios elementos arquitectónicos, como principales bazas para obtener unas condiciones óptimas de habitabilidad y confort en su interior. La demanda energética es aportada por sistemas energéticos renovables o eficientes. La vivienda ha sido dotada de un sistema de gestión integral, ofreciendo al visitante toda la información relativa a su funcionamiento.

Las principales características de las instalaciones y equipos que la conforman son:

##### Instalación solar fotovoltaica

Se encuentra integrada arquitectónicamente en el tejado y la inclinación es de 14° respecto de la horizontal. Está distribuida en tres circuitos, cada uno con una orientación diferente: Este, Sur y Oeste, según la orientación la potencia es la siguiente:

INSTALACIÓN	ORIENTACIÓN	Nº PANELES	Wp
Este	90°	10	1230
Sur	180°	6	708
Oeste	270°	6	708

##### Instalación solar térmica

Igualmente integrada en la cubierta sur de la vivienda. Sus características son:

- ▶ 8 paneles de 2,5 m<sup>2</sup> de superficie de absorbedor, distribuidos en dos baterías de cuatro captadores en paralelo, para una superficie total de 20 m<sup>2</sup>
- ▶ Orientación Sur e inclinación de los paneles de 19°
- ▶ Volumen de acumulación de 1.000 litros

### **Instalación mini-eólica**

Aerogenerador de 1,5 kW de potencia nominal.

### **Caldera de biomasa**

La potencia térmica nominal del equipo es de 20 kW. El equipo utiliza pellets como biocombustible, estos son transportados neumáticamente desde un silo de 3.000 kg de capacidad según demanda.

### **Bomba de calor geotérmica**

La potencia calorífica nominal es de 8,2 kW, con un COP de 4,7. El equipo posee su circuito frigorífico, en el lado del evaporador, conectado a un intercambiador geotérmico horizontal de 500 m de tubería de polietileno de DN 32 mm y ubicado bajo el material de relleno procedente de la excavación de la propia vivienda a una profundidad media de 2 m.

## **4.4.5 | Situación actual**

La vivienda ha sido finalizada, siendo visitable desde su inauguración el 21 de junio de 2010. Actualmente se vienen desarrollando diversos proyectos y análisis relativos al comportamiento energético de la misma, e impartiendo periódicamente cursos de formación en el ámbito de las energías, el ahorro y la eficiencia energética.

## **4.4.6 | Experiencia y conclusiones**

Desde el punto de vista divulgativo la Vivienda Bioclimática ha supuesto un revulsivo importante en los contenidos que Sotavento ofrece a sus visitantes. La instalación ha cumplido y cumple perfectamente con el objeto de acercar, desde un punto de vista doméstico y por tanto cercano al visitante, la posibilidad real que nos ofrece una correcta construcción de los edificios, de cara a conseguir un modelo de desarrollo sostenible. Actualmente, muchos grupos solicitan la visita únicamente a este apartado del parque y ha sido galardonada como construcción sostenible y como proyecto didáctico, lo que da idea del éxito de este proyecto.

Su elaboración por parte de un equipo multidisciplinar, unido a su explotación personalizada, consideramos que es la clave de la buena acogida obtenida.

## **4.5 | Sistema de generación y acumulación de energía en forma de hidrógeno**

### **4.5.1 | Antecedentes**

En la primavera del 2005 se firmó un acuerdo entre Gas Natural y la Consellería de Innovación, Industria y Comercio de la Xunta de Galicia para el desarrollo de un proyecto piloto de

almacenaje de energía eólica en forma de energía química a través de la electrólisis del agua generando hidrógeno.

#### 4.5.2 | Entidades colaboradoras

El presente proyecto fue financiado por Gas Natural y la Consellería de Innovación, Industria y Comercio de la Xunta de Galicia con la colaboración del Parque Eólico Experimental Sotavento.

#### 4.5.3 | Objeto

El objetivo era tomar experiencias en operación real y a una escala, que sin ser de una envergadura que resuelva la variabilidad de la generación para esta tecnología, permitiese trasladar los conocimientos adquiridos al diseño de soluciones globales en plantas de almacenaje de energía eólica que emplean hidrógeno.

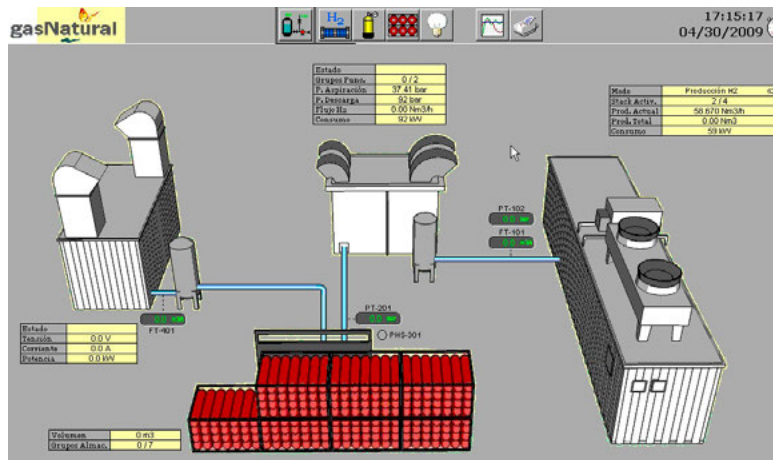
#### 4.5.4 | Instalaciones y desarrollo

Las instalaciones se encuentran ubicadas en la parcela del Parque Eólico Experimental Sotavento. Los principales equipos que la componen se han dispuesto en contenedores habilitados a tal efecto al Oeste del edificio multifuncional.

Durante el desarrollo del proyecto, la planta de hidrógeno ha sido operada conforme a distintas estrategias, en todas ellas se ha empleado energía eléctrica generada en el parque.

Los principales equipos que la integran son:

- ▶ **Electrolizador.** En este equipo se produce la disociación de la molécula de agua en sus elementos constituyentes, oxígeno e hidrógeno. La capacidad máxima de generación del equipo es de 60 Nm<sup>3</sup>/h de hidrógeno (en condiciones normales de presión y temperatura, con una pureza del 99,99%). El oxígeno generado en el proceso se ventea a la atmosfera
- ▶ **Compresor.** Equipo encargado de elevar la presión del hidrógeno generado hasta los 200 bar para su almacenamiento
- ▶ **Sistema de almacenamiento de hidrógeno.** Infraestructuras que permiten acumular el hidrógeno generado. La capacidad máxima de almacenamiento de la planta es de 1.725 m<sup>3</sup>
- ▶ **Motogenerador.** Equipo en el que se genera la energía eléctrica como producto de la combustión del hidrógeno. La potencia eléctrica del motogenerador es de 55 kW



**Figura 59**  
Pantalla principal del SCADA de la planta de hidrógeno.

Las distintas fases de las que constó el proyecto han sido:

- 1 Análisis y diseño preliminar, selección de equipos
- 2 Redacción del proyecto
- 3 Inicio de las obras y ejecución de la obra civil asociada
- 4 Ejecución de la instalación y puesta en marcha de la misma
- 5 Evaluación de todo el sistema aplicando diferentes estados
- 6 Evaluación y simulación del sistema bajo diferentes consignas:
  - Estrategias de gestión
  - Estrategia balancing
  - Estrategia peaking
  - Estrategia restricciones técnicas
  - Estrategia repowering
  - Estrategia cobertura de la demanda
  - Análisis de resultados de estrategias
- 7 Análisis de resultados de la fase anterior
- 8 Difusión de resultados

#### 4.5.5 | Experiencia y conclusiones

Comparativamente con otras instalaciones de acumulación de energía, la planta de hidrógeno de Sotavento posee una serie de ventajas, acercándose más a un proyecto de gestión real que a una experiencia piloto, pues en su momento supuso la mayor potencia electrolítica instalada a nivel europeo. Entre las conclusiones obtenidas a cerca de la potencialidad para este tipo de sistemas cabe destacar:

- ▶ Los sistemas de almacenamiento basados en el hidrógeno permiten independizar la capacidad de almacenamiento y la de reconversión, es decir potencia de energía
- ▶ La instalación presenta un tiempo de respuesta razonable (1 min) para el empleo de energía eléctrica de origen eólico
- ▶ El tamaño de la instalación no es el óptimo para gestionar la producción de un parque con la potencia de Sotavento
- ▶ La eficiencia global del ciclo es muy baja, dependiendo de la estrategia varía entre un 13,6-15,9 %
- ▶ La instalación, en el momento de su ejecución, presentaba una elevada relación inversión inicial €/kWh generado, al precio actual de la energía no sería rentable
- ▶ El electrolizador no estaba diseñado para operar con potencias de entrada variables. Actualmente los fabricantes proporcionan equipos que operan con cargas constantes, enfocados principalmente a procesos industriales. El desarrollo de esta tecnología de acumulación de energía requeriría a su vez la adaptación a consignas variables del electrolizador
- ▶ El consumo energético en stand-by de los equipos auxiliares de la planta es muy elevado, reduciendo significativamente la eficiencia global
- ▶ La electrónica de potencia del electrolizador no estaba diseñada para filtrar armónicos, implicando su modificación para evitar distorsiones en la red

#### 4.5.6 | Situación actual

El proyecto ha concluido, siendo finalizado en diciembre de 2011. Sin embargo, SOTAVENTO GALICIA ha mantenido las infraestructuras operativas a lo largo de 2012 a la espera de que surjan nuevos proyectos que puedan aprovechar la infraestructura ya existente.

## 4.6 I Anemos

### 4.6.1 I Antecedentes

La gran expansión que ha tenido la energía eólica en nuestro país, ha situado a España en una posición puntera a nivel mundial en este sector energético. No obstante, la propia naturaleza intermitente del recurso eólico dificulta la predicción de la producción y por tanto su mayor integración en el sistema eléctrico.

El proyecto surge así de la necesidad de desarrollar herramientas avanzadas de predicción, que mejorasen la gestión de la energía eólica y su competitividad, facilitando las operaciones de mantenimiento y favoreciendo su integración a mayor escala en el contexto de un mercado eléctrico liberalizado.

### 4.6.2 I Entidades colaboradoras

En el proyecto han colaborado diversas entidades europeas, siendo el coordinador del mismo la Escuela de Minas de París (ARMINES). Desde España han participado el IDAE, CIEMAT, CENER, EHN, la Universidad Carlos III y REE.

El resto de participantes han sido:

- ▶ EdF, ARIA Technologies, Meteo France y la Escuela de Minas de París en Francia
- ▶ RISO, DTU, ELSAM en Dinamarca
- ▶ Universidad Oldenburg , EWE y Overspeed en Alemania
- ▶ ESB en Irlanda
- ▶ NTUA, PPC - Crete en Grecia
- ▶ CLRC en Inglaterra

### 4.6.3 I Objeto

ANEMOS ha sido un proyecto Europeo de I+D promovido por la Comisión Europea al amparo del 5º Programa Marco. El objetivo perseguido era efectuar un análisis detallado del estado del arte de las técnicas de predicción del potencial eólico, mediante la experimentación y estudio comparativo de diversas opciones, para el desarrollo de soluciones óptimas que facilitasen la integración de la producción eólica en el sistema eléctrico.

#### 4.6.4 | Desarrollo

Las distintas actividades que han tenido lugar a lo largo del proyecto se incluyen en diez fases:

- 1 Estado del arte. Evaluación de necesidades. Adquisición de datos y análisis
- 2 Evaluación de técnicas de predicción existentes

Los modelos de evaluados han sido los siguientes:

MODELO DE PREDICCIÓN	ORGANISMO
Prediktor	Riso (Dinamarca)
WPPT IMM	Universidad Técnica de Dinamarca (Dinamarca)
Zephir,	Riso e IMM (Dinamarca)
Previento	Universidad de Oldenburg (Alemania)
AWPPS	Escuela de Minas de París/ ARMINES (Francia)
Local Pred	CENER (España)
HIRPOM Meteorológico Danés	Universidad de Cork (Irlanda) e Instituto Meteorológico Danés
SIPREÓLICO	Universidad Carlos III (España)
AWPT	ISSET (Alemania)

- 3 Mejora y desarrollo de modelos estadísticos
- 4 Desarrollo de modelos físicos
- 5 Predicción en parques off - shore
- 6 Desarrollo de la plataforma de predicción ANEMOS
- 7 Instalación para operación on-line
- 8 Evaluación de operación on-line
- 9 Difusión de resultados
- 10 Coordinación

#### 4.6.5 | Situación actual

Proyecto finalizado en noviembre de 2007.

## 4.7 | Instalación de modelos de predicción de la producción energética en el Parque Eólico Sotavento

### 4.7.1 | Antecedentes

La predicción de producción energética de los parques eólicos tiene un carácter estratégico en la situación actual del mercado eléctrico debido al elevado índice de penetración de la energía eólica, constituyendo una herramienta que ha permitido gestionar el sistema eléctrico de forma más eficaz, proporcionando capacidad de previsión de la generación de origen eólico.

CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) en colaboración con el CENER (Centro Nacional de Energías Renovables) establecieron un convenio para el desarrollo técnico y comercial de programas de predicción de viento y generación de energía eólica.

Previamente, el CIEMAT había realizado en el año 1999 una revisión del estado del arte internacional de los modelos de predicción existentes. En el marco de este estudio, CIEMAT contrastó los resultados de dos modelos de predicción, el Prediktor del Riso National Laboratory y el WPPT de la Universidad Técnica de Dinamarca, para un parque eólico con terreno complejo en España.

El parque Eólico Experimental Sotavento ha colaborado con el CENER en el desarrollo del presente proyecto.

### 4.7.2 | Entidades colaboradoras

El presente proyecto de colaboración se realiza en el marco de los contactos mantenidos entre, CENER, CIEMAT y el Parque Eólico Experimental Sotavento con el fin de instalar un modelo de predicción de la producción energética en el parque.

### 4.7.3 | Objeto

Los principales objetivos del proyecto abarcan:

- ▶ Mostrar el funcionamiento de un modelo de predicción en un parque eólico en terreno complejo
- ▶ Mejorar la integración de la energía producida en el sistema eléctrico
- ▶ Contribución a la planificación diaria de la demanda eléctrica

### 4.7.4 | Instalaciones y funcionamiento

Las distintas fases que tuvieron lugar a lo largo del proyecto fueron:



- 1 Adquisición de las predicciones numéricas  
Adquisición de la predicción numérica de un modelo meteorológico. El modelo seleccionado fue HIRLAM del Instituto Nacional de Meteorología (INM).  
Empleo de predicciones históricas y en tiempo real. Las predicciones históricas han servido para verificar el modelo de predicción y ajustarlo a la zona de estudio. Una vez optimizado el modelo, se incorporaron las predicciones en tiempo real.
- 2 Recopilación de datos de viento y producción del parque  
Para el desarrollo del modelo de predicción se necesitaba disponer de datos de viento y producción energética. El Parque Eólico Sotavento creó una base de datos, adaptándola a las necesidades del modelo de predicción.
- 3 Ajuste y optimización del modelo de predicción de viento  
A partir de las predicciones históricas y de los datos medidos de velocidad y producción en el parque, se ajustó el modelo de predicción por CENER-CIEMAT.
- 4 Modelización del funcionamiento del parque eólico frente al viento. Obtención de la curva de parque  
De los datos sobre el funcionamiento y la operación del parque eólico, se modelizó el funcionamiento del parque teniéndose en cuenta la velocidad, dirección del viento y disponibilidad de los aerogeneradores, entre otros parámetros.
- 5 Cálculo de errores del modelo de predicción
- 6 Instalación del modelo de predicción en los equipos de Sotavento
- 7 Evaluación de los resultados  
Seguimiento del funcionamiento del modelo y evaluación de los resultados.
- 8 Fase final de mejora de los resultados obtenidos  
Los resultados del punto anterior sirvieron para identificar las posibles mejoras del modelo:
  - ▶ Modelos estadísticos más avanzados
  - ▶ Modelización física de alta resolución con MM5 o FLUENT

#### 4.7.5 | Situación actual

El proyecto ha finalizado en 2003, proporcionando en su momento datos en tiempo real de estimación de producción para la web.

#### 4.7.6 | Experiencia y conclusiones

Las conclusiones de este estudio de los modelos de predicción indicaron que:

- ▶ Los modelos desarrollados para terreno plano, no daban buenos resultados en terreno complejo

- ▶ La predicción meteorológica en España necesitaba una adaptación específica para el parque eólico que contemple los efectos locales
- ▶ El proyecto contribuyó a la maduración de un sector sin desarrollar en su momento. Como conclusión más destacable, los modelos de predicción estadísticos han proporcionado mejores resultados frente a los que incorporan modelos de dinámica computacional de fluidos

## 4.8 | Efectos orográficos y de estelas en el Parque Eólico Sotavento

### 4.8.1 | Antecedentes

Debido al efecto aerodinámico de las estelas y otras perturbaciones, no todos los aerogeneradores del parque reciben un viento con iguales características. De la necesidad de determinar el viento incidente en cada una de las turbinas de modo teórico surge el presente proyecto; puesto que los datos proporcionados por el anemómetro de la góndola ya contienen estas perturbaciones.

### 4.8.2 | Entidades colaboradoras

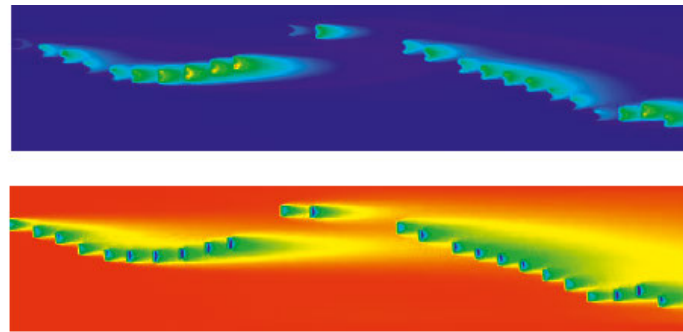
El presente proyecto ha sido realizado por La Fundación para el Fomento Industrial, contando para ello con la colaboración del Laboratorio de Mecánica de Fluidos del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

El director del equipo investigador ha sido el profesor D. Antonio Crespo Martínez.

### 4.8.3 | Objeto

El proyecto pretendía los siguientes objetivos:

- ▶ Elaboración de un modelo informático que determine en tiempo real el viento incidente en cada uno de los aerogeneradores teniendo en cuenta los efectos estela y orográficos
- ▶ Discriminar las diferencias existentes entre el viento incidente y el captado por las turbinas para cada dirección de viento y velocidad
- ▶ Correlacionar las características del viento efectivo incidente en cada una de las máquinas, con el viento medido en los anemómetros emplazados en las torres anemométricas del parque



**Figura 60**  
Simulación mediante CFD  
(UPMARK) de los efectos  
estela del parque

Los programas de dinámica de fluidos computacional empleados para la estimación de efectos orográficos han sido:

- ▶ WASP
- ▶ UPM
- ▶ FLUENT
- ▶ UPMPARK
- ▶ PARK

#### 4.8.4 | Desarrollo

Las distintas fases en las que se estructuraron los trabajos fueron:

- 1 El parque Eólico Experimental Sotavento proporciona a la UPM la topografía digitalizada y datos históricos de viento
- 2 El parque pone a disposición de la UPM datos de viento de las estaciones de parque y potencia-anemometría de aerogeneradores
- 3 El Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la ETSII de la UPM, realiza una primera aproximación a la discriminación del viento incidente en las 24 posiciones contra los registros de viento del período aportado
- 4 El Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la ETSII de la UPM, desarrolló el informe de viento incidente y un programa que ofrece valores de viento en cada aerogenerador

#### 4.8.5 | Situación actual

El proyecto está concluido desde el año 2003.

### 4.8.6 | Experiencia y conclusiones

El proyecto ha permitido comparar los resultados proporcionados por el distinto software de simulación empleado.

Del estudio realizado se estima que la disposición de las máquinas conduce a un rendimiento medio del parque del 95% debido al efecto de las estelas.

En el aspecto asociado a la turbulencia añadida, no supone un incremento sustancial importante respecto a la turbulencia ambiente. El incremento porcentual de la intensidad de turbulencia en media para todo el parque es del 6,3%, por debajo de los valores marcados por la norma IEC 61400-1.

## 4.9 | Supervisión de las instalaciones eléctricas del Parque Eólico Sotavento

### 4.9.1 | Antecedentes

En las distintas fases de un parque eólico (diseño, redacción de documentación, ejecución, puesta en marcha y explotación) intervienen gran variedad de empresas (tecnólogos, ingeniería, instaladores). En el parque de Sotavento, esta diversidad se ve acentuada con la existencia de cinco tecnologías eólicas con diferentes sistemas de generación eléctrica.

Por ello, se ha realizado un estudio en detalle de las infraestructuras eléctricas, con el objeto de situarse en las condiciones óptimas de explotación y operación de la central de generación.

### 4.9.2 | Entidades colaboradoras

D. Juan Rodríguez ha sido el responsable y coordinador de la realización del estudio, con aportación de medios materiales para su realización de las Universidades de A Coruña y Vigo.

### 4.9.3 | Objeto

El proyecto analizó, desde el punto de vista electrotécnico, los diferentes componentes eléctricos de la red de baja tensión, línea de 20kV, subestación y línea de 132 kV del parque, permitiendo establecer pautas de actuación en el diseño y mantenimiento en diversos campos de las instalaciones eólicas:

- ▶ Adecuación del aparellaje eléctrico instalado, niveles de aislamiento, redes de tierras y dimensionamiento del sistema de compensación de reactiva
- ▶ Estudio de selectividad de protecciones eléctricas en los distintos niveles de tensión
- ▶ Plan de medidas preventivas y correctivas en las instalaciones eléctricas

- Determinación del comportamiento del parque y por tecnología de los aspectos electromagnéticos más importantes

#### 4.9.4 | Desarrollo

Los trabajos realizados en este proyecto han sido principalmente:

- 1 Supervisión de ingeniería eléctrica a nivel de documentación y planos. Análisis de: subestación, líneas, cableado de potencia en aerogeneradores, protecciones de aerogenerador y ajustes implantados en la subestación
- 2 Supervisión de características generales del aparellaje y comprobación de su adecuado dimensionamiento
- 3 Estudio de selectividad del parque frente a diversas hipótesis. Carencias y posibilidades de mejora
- 4 Supervisión de las instalaciones en régimen de operación. Se realizaron medidas en los grupos de aerogeneradores que proporcionasen información relativa al comportamiento real en cuanto a energía activa y reactiva
- 5 Entrega de informe definitivo

#### 4.9.5 | Experiencia y conclusiones

Este proyecto ha supuesto un análisis a posteriori de las instalaciones eléctricas que ha permitido depurar y optimizar el proceso de explotación del parque gracias a las conclusiones extraídas del mismo. Se han implementados todas las mejoras en él apuntadas:

- Selectividad de protecciones
- Mejoras en protección de transformadores y aerogeneradores

#### 4.9.6 | Situación actual

El proyecto se encuentra finalizado desde junio de 2003.

### 4.10 | Sistema centralizado de medición de energía en los aerogeneradores del Parque Eólico Sotavento

#### 4.10.1 | Antecedentes

Las mediciones de potencia y energía producida por los aerogeneradores del parque que se registraban en su SCADA nativo, presentaban una gran disparidad para cada tecnología, dificultando la comparación de resultados debido a una serie de factores:

- ▶ Empleo por cada tecnólogo de un SCADA y base de datos propios
- ▶ Acceso a la información con diferentes protocolos y privilegios
- ▶ Ubicación de los equipos de medición en puntos diferentes de la red eléctrica
- ▶ No sincronización temporal entre SCADA's de tecnólogos

#### 4.10.2 I Entidades colaboradoras

Proyecto ha sido desarrollado íntegramente por SOTAVENTO GALICIA S.A.

#### 4.10.3 I Objeto

El objetivo del proyecto era la implementación de un sistema permanente y centralizado de adquisición de mediciones de energía y potencia activa-reactiva registradas en los distintos aerogeneradores del parque y subestación.

Las características de este proceso de medición permitieron precisar con exactitud:

- ▶ Flujos energéticos reales del parque. Desviaciones de energía de aerogeneradores respecto a la contabilizada en los propios contadores de cada máquina
- ▶ Obtención de la curva de potencia real del parque, para su empleo en métodos predictivos de producción eólica y comprobación de efectos estelas
- ▶ Cálculo de disponibilidad y curva de potencia de todos los aerogeneradores, solventándose de esta forma las posibles ausencias de datos por problemas de comunicación

#### 4.10.4 I Instalaciones y desarrollo

Las actuaciones realizadas en el proyecto se han desarrollado en dos etapas bien diferenciadas:

1 Instalación de equipos de medición y registro.

Instalación de transformadores de intensidad, analizadores de redes y demás equipos para medición de:

- Tensión simple y compuesta
- Intensidad por fase
- Potencia activa en cuatro cuadrantes
- Potencia reactiva en cuatro cuadrantes
- Factor de potencia
- Energía activa en intervalos de hasta 1 minuto
- Energía reactiva en intervalos de hasta 1 minuto

2 Configuración de red de comunicaciones.

Instalación de los equipos para almacenamiento de las mediciones, permitiendo efectuar las siguientes tareas:

- Lectura y visualización de mediciones instantáneas
- Almacenamiento de históricos
- Comprobación estado de comunicaciones
- Interconexión en tiempo real con el servidor central, permitiendo integrar esta información con otros programas de gestión del parque

Por último, se integraron la totalidad de los equipos de almacenamiento de datos en una red LAN única, en su momento sistema pionero en Europa. El estándar para la esta red fue Ethernet, mediante protocolo TCP-IP controlado a través del servidor central situado en el edificio de control.

#### 4.10.5 | Situación actual

En la actualidad el proyecto se encuentra en funcionamiento, registrando en intervalos segúndales y diezminutales parámetros de la red eléctrica en la base de datos.

#### 4.10.6 | Experiencia y conclusiones

El cumplimiento de los objetivos del presente proyecto permite disponer de datos de energía real generada así como las pérdidas en cada elemento del parque. Esta información resulta además imprescindible para el desarrollo de otros proyectos y exigencias a nivel de normativa como:

- ▶ EFIVENTO
- ▶ Sistema de compensación de energía reactiva
- ▶ Modelos de predicciones de la producción energética del parque
- ▶ Verificación de los efectos orográficos y estelas
- ▶ Huecos de tensión

### 4.11 | Compatibilidad electromagnética en sistemas de generación eólica de Sotavento

#### 4.11.1 | Antecedentes

La gran penetración de la energía eólica en nuestro país obligó a la consideración, de determinados aspectos relacionados con la calidad de onda generada, su influencia en la red eléctrica y el comportamiento ante determinadas contingencias de la red (huecos de tensión y microcortes).

SOTAVENTO GALICIA S.A. consciente de ello, ha aprovechado las ventajas que le ofrecen sus instalaciones al disponer de diferentes tecnologías eólicas para realizar un estudio comparativo de las mismas a partir de mediciones reales de la calidad de onda y la continuidad de generación ante perturbaciones.

#### 4.11.2 | Entidades colaboradoras

El estudio ha sido efectuado por el Grupo de Electrotecnia y Redes Eléctricas de la Universidad de Vigo.

#### 4.11.3 | Objeto

Los objetivos de dicho estudio abarcaban los siguientes aspectos en los aerogeneradores presentes en el parque de Sotavento:

- ▶ Estudio comparativo de la calidad de onda en función del tipo de aerogenerador y a nivel de parque (fluctuaciones de potencia, interarmónicos, etc.)
- ▶ Simulación de la influencia sobre la red eléctrica (flicker, armónicos, variaciones de tensión, etc.) de parques con las distintas tecnologías. Comparación con los valores obtenidos en la etapa de medidas
- ▶ Estudio de la eficiencia energética del parque y de las distintas tecnologías de aerogeneradores
- ▶ Análisis y simulación del comportamiento de los aerogeneradores ante perturbaciones en la red eléctrica (huecos de tensión, variaciones de frecuencia, etc.)
- ▶ Investigación de los efectos que sobre la red eléctrica tendrían parques eólicos basados en alguna de las tecnologías presentes en Sotavento
- ▶ Estimación de la capacidad de las distintas tecnologías para adaptarse a los requisitos técnicos de las normativas de aplicación en el momento de desarrollo del proyecto

En total se han estudiado en detalle ocho de los nueve modelos de aerogeneradores de las cinco tecnologías. Los estudios han ido más allá del comportamiento individual de cada máquina, simulándose el comportamiento de parques compuestos por cada una de estas tecnologías, tomando como referencia los resultados obtenidos en las máquinas de Sotavento.



Los aerogeneradores que han sido estudiados son los siguientes:

FABRICANTE	MODELO
MADE	MADE AE-46/I 600kW
GAMESA EÓLICA	G47 660 kW
BONUS	BONUS 600 kW
ECOTECNIA	ECOTECNIA 44 640 kW
BONUS	BONUS 1,3 MW [1]
MADE	MADE AE-52 800kW [1]
MADE	MADE AE-61 1,3 MW [1]
NEG MICON	NG 52 900 kW

#### 4.11.4 ■ Instalaciones y funcionamiento

El estudio se ha dividido en las siguientes fases:

##### 1 Documentación previa

Previo al estudio, se hace necesario el conocimiento de la configuración del Parque Eólico Sotavento, comprendiendo:

- ▶ Características eléctricas y mecánicas de los aerogeneradores
- ▶ Características de los transformadores y líneas subterráneas de 20kV hasta la subestación
- ▶ Características de la subestación
- ▶ Características de las líneas de 132kV de evacuación de energía eléctrica
- ▶ Históricas de las condiciones de viento a nivel de parque y máquina
- ▶ Potencia activa y reactiva a nivel de parque y máquina
- ▶ Comportamiento de la tensión en los distintos puntos de las instalaciones

##### 2 Campaña de medidas y calidad de onda

Campaña de medidas orientada a aspectos de detalle de la calidad de onda y de suministro, tanto a nivel de parque como a nivel de máquina. Los objetivos eran, por una parte el estudio de los parámetros a los que hacía referencia en la normativa española (UNE-EN 50160:2001 “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”), abarcando aspectos como:

- ▶ Variaciones de tensión (lentas y rápidas)
- ▶ Tasa de distorsión armónica
- ▶ Desequilibrio en la tensión de alimentación
- ▶ Impulsos de tensión

La influencia de los aerogeneradores en la red eléctrica va más allá de los aspectos clásicos de calidad de onda como los recogidos en el apartado anterior. Por ello se hizo necesaria la medición de más variables:

- ▶ La naturaleza aleatoria del viento hace que la potencia inyectada a la red siga un patrón similar. Como consecuencia, fue necesario superponer el efecto de la sombra de la torre que provoca oscilaciones de baja frecuencia
- ▶ La influencia de los equipos de electrónica de potencia de los aerogeneradores que actúan como fuente de armónicos e interarmónicos). Se necesitó de un equipo capaz de detectar armónicos de alta frecuencia, los cuales generalmente quedaban fuera del rango de medición
- ▶ Los aerogeneradores doblemente alimentados, o los conectados a red a través de un enlace CA/CA, hacen gala de un control de la potencia entregada a la red. De esta forma las fluctuaciones de la potencia inyectada quedan atenuadas en gran medida, así como los esfuerzos que soportan los elementos mecánicos ante las variaciones de viento. Fue necesario registrar la potencia a la salida del aerogenerador, pues de ella dependía la elección de los algoritmos de control

Las medidas a realizar estaban basadas en un registrador específico que permitía un muestreo de alta frecuencia y larga duración de las formas de la onda a la salida del aerogenerador. En este proyecto se contemplaba además la utilización de equipos desarrollados en el departamento de Ingeniería Eléctrica que cubrían estos aspectos. La campaña de medidas ha abarcado únicamente aquellos aerogeneradores que se consideraban representativos de una determinada tecnología.

### 3 Estudio de eficiencia energética

Por evaluación de la eficiencia energética, ha de entenderse el grado de aprovechamiento de los recursos energéticos de los que se dispone. El primer aspecto evaluado ha sido el relacionado con las pérdidas de energía en los elementos, es decir: transformadores, conductores, líneas, etc. Se ha considerado el efecto de los convertidores de potencia en aquellas tecnologías que los incluían.

Se efectuó una comparativa de la producción entre las distintas tecnologías en condiciones de viento similares. Resultó esencial toda la información de datos históricos disponibles, especialmente el hecho de su sincronización, ya sea de la potencia inyectada a la red como la de las distintas medidas de viento.

### 4 Simulación del comportamiento ante perturbaciones eléctricas

Era necesario conocer el comportamiento del parque ante las perturbaciones habituales en la red. Además, a nivel de normativa, las exigencias para los parques eólicos se centran en que se garantizase una cierta inmunidad y se contribuyese a la estabilidad de la red.

El comportamiento ante las perturbaciones, en especial las relacionadas con las variaciones de tensión, están íntimamente ligadas a la tecnología empleada. En este proyecto se

ha realizado un importante estudio de simulación, no sólo habiéndose establecido el comportamiento de las máquinas del parque analizadas.

Se evaluaron las posibilidades de las tecnologías analizadas para adaptarse a las exigencias técnicas provenientes de los organismos reguladores en el momento en el que se desarrolló el proyecto, concretamente al RD 436/2004. Además, se estudiaron posibles estrategias de control que permitiesen mejorar de prestaciones de los aerogeneradores.

#### 5 Simulación del impacto sobre la red eléctrica

Persiguiendo la generalización de las conclusiones, y una vez parametrizado el parque, se simuló parques eólicos con distintas tecnologías en exclusiva y bajo distintas condiciones, tanto eólicas como eléctricas, utilizando para ello los datos obtenidos en el estudio del parque

### 4.11.5 | Situación actual

El proyecto ha finalizado en enero de 2007. Los resultados y conclusiones obtenidos al respecto de este estudio han sido publicados en un informe con el título del proyecto.

### 4.11.6 | Experiencia y conclusiones

El proyecto ha permitido cuantificar las perturbaciones de los aerogeneradores en la red ante diversas hipótesis, así como parametrizar la influencia la red en cada uno de los diferentes modelos de aerogeneradores presentes en el parque.

## 4.12 | Optimización de la gestión integral del Parque Eólico Sotavento. Eevento

### 4.12.1 | Antecedentes

El sistema de gestión de un parque eólico constituye una herramienta fundamental en la fase de explotación. Las características especiales de este tipo de instalaciones requerían no sólo de la disposición de un sistema de monitorización que permitiese la supervisión y control de determinados parámetros de funcionamiento, también de una aplicación informática que posibilitase la elaboración de informes de explotación tendentes a optimizar la generación eólica.

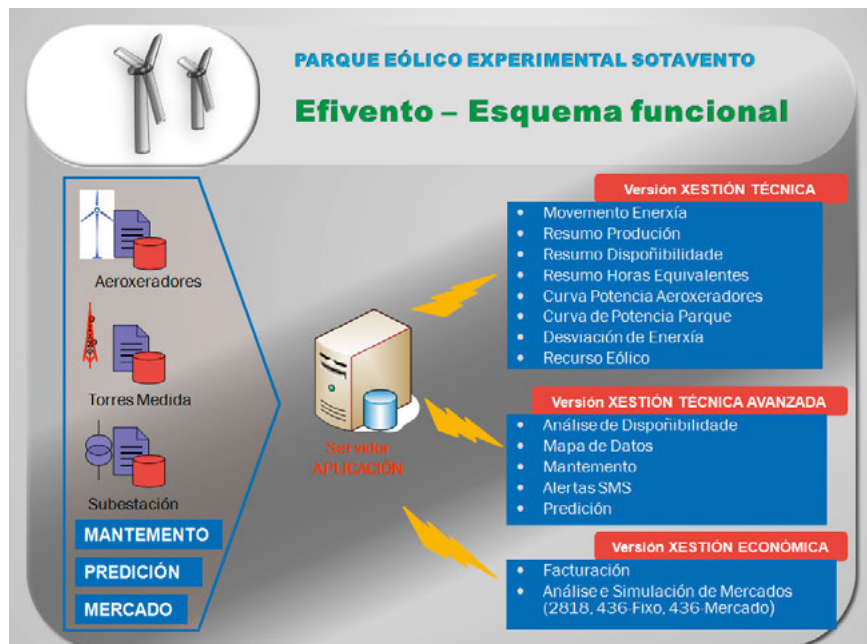
Las mediciones de potencia y energía producida por los aerogeneradores del parque se registraban en su SCADA nativo, presentaban una gran disparidad para cada tecnología, dificultando la comparación de resultados a causa de una serie de factores (ver apartado 4.10 Sistema centralizado de medición de energía en los aerogeneradores del Parque Eólico Sotavento).

### 4.12.2 | Entidades colaboradoras

Proyecto ha sido desarrollado íntegramente por SOTAVENTO GALICIA S.A.

### 4.12.3 | Objeto

Consciente de esta diversidad de información, desde el Parque Eólico Sotavento se ha desarrollado un sistema de gestión integral cuyo objetivo era aglutinar de manera homogénea, en una base de datos única, los parámetros e incidencias provenientes de los distintos sistemas del parque eólico (aerogeneradores, torres meteorológicas y subestación) y a partir de ella, elaborar informes de explotación que permitiesen tener un control del rendimiento de los aerogeneradores en paralelo al que ofrece el propio tecnólogo; posibilitando una optimización y parametrización de interés propio para el promotor.



**Figura 61**  
Esquema funcional de EFIVENTO

### 4.12.4 | Desarrollo

Las actuaciones realizadas en el proyecto por orden cronológico han sido:

- 1 Integración en red LAN de comunicaciones de los puestos de operación local existentes en la sala de control del parque que albergan los SCADA's nativos de los cinco tecnólogos, torres meteorológicas del parque y subestación

- 2 Sincronización entre SCADA's referenciada a una base de tiempos única
- 3 Importación a base de datos de las medias diezminutales del SCADA correspondiente
- 4 Tratamiento de los ficheros de datos para homogeneización y almacenamiento definitivo en base de datos
- 5 Importación de ficheros de incidencias y errores de los SCADA's de tecnólogos a base de datos
- 6 Tratamiento de ficheros de incidencias para su homogenización
- 7 Introducción a base de datos de las tareas de mantenimiento
- 8 Programación para elaboración de informes a partir de la base de datos de gestión

#### 4.12.5 | Situación actual

En la actualidad esta herramienta de gestión está concluida e implementada en el parque, y sometida a un proceso de optimización y adaptación a nuevas necesidades de modo continuado, a la redacción del presente documento se estaba desarrollando un sistema más ágil y eficiente para la introducción de los partes de trabajo; así como de informes detallados del mantenimiento.

A través de la misma se obtienen los siguientes informes técnicos de gestión:

- ▶ Informe movimiento de energía
- ▶ Informe producción por tecnologías
- ▶ Informe de horas equivalentes
- ▶ Informe viento en torres anemométricas
- ▶ Informe viento por aerogeneradores
- ▶ Informe disponibilidades
- ▶ Informe curva de potencia
- ▶ Informe desviación de energía
- ▶ Tiempos de respuesta de mantenimiento
- ▶ Comparación entre tecnologías
- ▶ Integración de efectos topográficos y de estelas en los aerogeneradores
- ▶ Integración de la energía de las turbinas y datos de predicción
- ▶ Programación para elaboración de informes de estadística de fallos e importación-exportación automática de datos

### 4.12.6 | Experiencia y conclusiones

La experiencia nos indica que una herramienta de estas características se antoja indispensable en un parque eólico, permitiendo:

- ▶ Correcta supervisión de las instalaciones
- ▶ Mejorar la disponibilidad de los aerogeneradores
- ▶ Cuantificar las pérdidas de energía (por indisponibilidad e incumplimiento de curva de potencia)
- ▶ Identificar errores y fallos no detectados en las labores de mantenimiento
- ▶ Cuantificar el impacto de las operaciones de mantenimiento en el rendimiento

## 4.13 | Mejora de la red de comunicaciones del Parque Eólico Sotavento

### 4.13.1 | Antecedentes

Este proyecto surge como necesidad de trasladar los datos medidos y registrados en cada aerogenerador a un sistema central en tiempo real.

La disponibilidad de toda central de generación constituye un factor decisivo. En los parques eólicos, debido a la gran extensión que ocupan, es obligado disponer de una red de comunicación fiable que garantice la correcta supervisión y control de todos los parámetros de interés. La línea de comunicación por fibra óptica del Parque Eólico Experimental Sotavento ha generado diversos problemas en años anteriores al desarrollo del presente proyecto. El proyecto de ejecución del parque no contemplaba la comunicación entre aerogeneradores. Se optó por la utilización de fibra óptica, una tecnología relativamente novedosa en ese momento en el sector, que sin duda representaba importantes mejoras con respecto a otros sistemas de comunicación. La experiencia y el continuo desarrollo de proyectos hicieron patente la necesidad de una mejora, tanto a nivel físico como estructural, de esta primera red de comunicaciones.

Los principales problemas detectados que suscitaron esta mejora fueron:

- ▶ La topología de red con la que se comunicaban los equipos de análisis y compensación de energía reactiva de Sotavento (topología en cascada), resultaba muy sensible a fallos y por lo tanto poco fiable
- ▶ Deterioro de componentes propios de la red, con el consecuente incremento de la tasa de errores e inestabilidad en la red

Estas circunstancias aumentaban el riesgo de pérdida de comunicación y el tiempo de localización y reparación de las averías. Las pérdidas económicas que suponían estos retrasos, en términos de disponibilidad de máquinas y gestión de energía reactiva, revelaban la necesidad de reforzar el sistema de comunicaciones del parque.

### 4.13.2 | Entidades colaboradoras

El proyecto ha sido íntegramente desarrollado por SOTAVENTO GALICIA S.A.

### 4.13.3 | Objeto

Como objetivos de partida del proyecto estaban:

- ▶ Mejorar la red de comunicaciones del parque
- ▶ Ampliación de los armarios que alojan los equipos de Sotavento

### 4.13.4 | Desarrollo

Las fases en las que se estructuró han sido:

- 9 Sustitución de los cuadros de concentración de fibras por unas nuevos
- 10 Refuerzo de la comunicación entre equipos de Sotavento
- 11 Con anterioridad al proyecto, para la comunicación entre equipos, se utilizaba una red de topología en cascada, el objetivo era cambiar a una topología en anillo Token Ring
- 12 Modificación de la distribución de los equipos de Sotavento. Instalación de nuevos armarios por aerogenerador, ya que los existentes se habían quedado pequeños debido a la continua implementación de equipos para proyectos (equipos vinculados al control de reactiva y análisis de variables eléctricas de las máquinas)

### 4.13.5 | Situación actual

La nueva red de comunicaciones ha respondido correctamente, minimizando los problemas tras su ejecución. La reestructuración de los armarios de los equipos también ha permitido albergar nuevos equipos necesarios para el desarrollo de distintos proyectos (mantenimiento predictivo en aerogeneradores).

## 4.14 | Sistema de compensación de energía reactiva en el Parque Eólico Sotavento

### 4.14.1 | Antecedentes

Gran número de receptores eléctricos consumen energía reactiva; es decir, al conectarlos a una red de corriente alterna originan un desfase entre la tensión y la intensidad, ocasionando que la intensidad necesaria para su funcionamiento sea mayor y por tanto las pérdidas durante el transporte.

El factor de potencia es un parámetro indicador de la proporción de potencia reactiva que es consumida o generada. Los centros de generación eléctrica deben ayudar a evitar esta situación corrigiendo este desfase desde sus instalaciones, es decir deben consumir o generar la energía reactiva solicitada por el sistema. Por lo tanto los parques eólicos deben colaborar en la corrección del factor de potencia.

Una importante cantidad de los aerogeneradores instalados en la geografía española son de tecnología asíncrona de jaula de ardilla. El Parque Eólico Sotavento posee 19 aerogeneradores de este tipo. Esta tecnología requiere de un sistema de compensación de reactiva (condensadores) para la corrección del factor de potencia.

En el inicio de la tecnología eólica, la implementación de estos sistemas de compensación era realizada por el propio fabricante y operaba de modo individualizado en cada aerogenerador. Esto era razonable en el marco del RD 2818/1998, que no exigía un ajuste de precisión, pues su cálculo era a partir de datos mensuales de producción.

Tras la entrada en vigor del RD 436/2004 se ofrecía la posibilidad de percibir bonificaciones por un determinado consumo o generación de energía reactiva calculado a partir de datos cuarto-horarios, posibilidad que se mantuvo con el posterior RD 661/2007.

#### 4.14.2 | Entidades colaboradoras

El estudio ha sido efectuado por el Grupo de Electrotecnia y Redes Eléctricas de la Universidad de Vigo en colaboración con el Parque Eólico Experimental Sotavento.

#### 4.14.3 | Objeto

Como objetivos del presente proyecto cabe destacar:

- ▶ Creación de un sistema centralizado para el control del factor de potencia evitando que cada aerogenerador opere individualmente
- ▶ Adecuación del sistema tanto para recepción de consignas externas de factor de potencia como para programación por tramos horarios
- ▶ Proporcionar de manera precisa e inmediata el factor de potencia asignado para cada momento
- ▶ Elaboración de un sistema independiente del fabricante de la máquina, que garantice la aplicabilidad en cualquier parque eólico de aerogeneradores de jaula de ardilla
- ▶ Minimizar el desgaste de elementos eléctricos vinculados a los sistemas de compensación



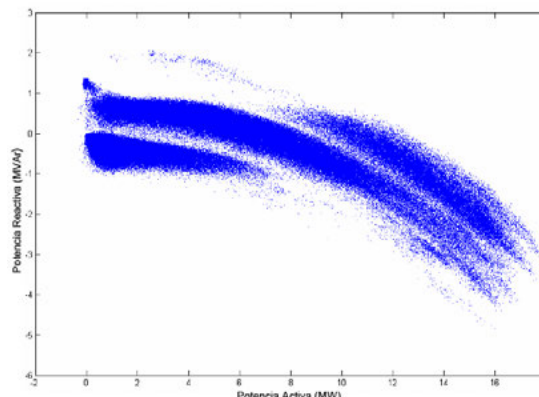
#### 4.14.4 | Instalaciones y desarrollo

##### Situación inicial

En un parque eólico de máquinas de jaula de ardilla, la energía reactiva se compensa por medio de condensadores, a nivel de aerogenerador en baja tensión y a nivel de subestación en media tensión.

El Parque Eólico Sotavento contaba inicialmente con 4,630 MVar a nivel de aerogeneradores y con dos escalones de 1,215 MVar en la subestación. Este modelo de compensación no estaba diseñado, ni era capaz de operar para consignas dadas del factor de potencia. Los principales problemas que presentaba eran los siguientes:

- ▶ Los aerogeneradores trabajaban con un determinado número de condensadores a partir de ciertos niveles de generación de potencia activa, las desviaciones debían ser corregidas independientemente desde la subestación por medio de las baterías de condensadores de media tensión
- ▶ Los escalones de regulación en media tensión eran demasiado grandes para hacer un ajuste preciso
- ▶ La conexión de las baterías de condensadores de los aerogeneradores se realizaba exclusivamente por tramos de potencia
- ▶ Las averías en condensadores no eran detectadas, una máquina podía estar operando con un condensador sin conocer su estado
- ▶ Se producían desconexiones de etapas sin que se respetasen los tiempos de descarga de los condensadores
- ▶ Los sistemas con tiristores, encargados de conectar los condensadores, fallaban con demasiada frecuencia, provocando corrientes asimétricas por fallos en las diferentes fases
- ▶ No existía información sobre averías de etapas en tiempo real



**Figura 62**  
Situación inicial. Potencia activa (MW) frente a potencia reactiva (MVar)

### **Solución propuesta**

Se propuso para el alcance de los objetivos descritos y como solución a los problemas encontrados, el diseño de un controlador central que gestionase un conjunto de reguladores locales de reactiva que admitiesen consignas externas, donde el controlador central desarrollaba las siguientes tareas:

- ▶ Captación de datos mediante analizadores instalados en cada una de los aerogeneradores y en la subestación
- ▶ Cálculo a partir de estos datos la cantidad de potencia reactiva necesaria a nivel global para alcanzar el factor de potencia deseado en el punto de evacuación
- ▶ Análisis e identificación del número de condensadores a conectar en base a reducir el número de operaciones sobre los mismos, en especial sobre los de la media tensión por tener un mayor tiempo de descarga
- ▶ Envío de la orden a cada uno de los controladores de cada máquina y de la subestación para que estos actuasen sobre los condensadores pertinentes

### **Fases del proyecto**

El proyecto se ha dividido en las siguientes fases:

- 1 Estudio de las condiciones iniciales de los sistemas de compensación de reactiva de cada uno de los aerogeneradores y de la subestación
- 2 Diseño del esquema de regulación aprovechando al máximo los equipos existentes con el objeto de intervenir lo menos posible
- 3 Elaboración y simulación de un algoritmo de control universal en colaboración con la Universidad de Vigo que logrese un equilibrio óptimo entre máxima bonificación y número de operaciones a realizar sobre condensadores
- 4 Modificaciones en los sistemas de compensación
- 5 Selección e implantación de equipos
- 6 Diseño e instalación de la red comunicaciones

#### **4.14.5 | Situación actual**

El sistema ha estado en funcionamiento desde 2010 hasta junio de 2011, obteniéndose una bonificación buena pero que llevaba asociado un elevado número de operaciones a nivel de la subestación.

A partir de esa fecha, se desarrolla un nuevo algoritmo (aprovechando la experiencia anterior) con la premisa de optimizar la relación entre bonificación/operaciones.

Aunque el sistema se desarrollo y diseño para adaptarse al RD 436/2004, actualmente está preparado para cumplir con las exigencias actuales de normativa, permitiendo adoptar cualquier consigna (automática o preestablecida) referente al factor de potencia y en cualquier rango de generación del parque.

#### 4.14.6 | Experiencia y conclusiones

Las conclusiones a las que se llegó tras el proyecto fueron las siguientes:

- ▶ La implementación de las baterías de condensadores a nivel de aerogeneradores y de subestación eléctrica, así como el desarrollo de un algoritmo de control específico ha permitido la adaptación a cualquier requerimiento del operador y de la normativa
- ▶ El algoritmo se ha ido optimizando a través de los distintos cambios en la legislación de aplicación vigente, reduciéndose el número de las operaciones en media tensión

### 4.15 | Lubricantes atóxicos, biodegradables y de origen renovable para Aerogeneradores

#### 4.15.1 | Antecedentes

En la actualidad, más del 90% de los lubricantes utilizados en Europa no son biodegradables y están principalmente basados en aceites minerales (materia prima no renovable). En los últimos años ha crecido el interés por los lubricantes biodegradables y atóxicos, inicialmente desarrollados para aplicaciones a pérdida total o con riesgo de fuga, con el fin de evitar sus efectos contaminantes. Paralelamente, se ha incrementado el concepto de renovabilidad aplicado a los lubricantes, de ahí el mayor interés su fabricación a partir de ésteres vegetales.

Los biolubricantes permiten obtener un rendimiento técnico similar a los lubricantes de base mineral en un gran número de aplicaciones, aún cuando existen algunas limitaciones principalmente relacionadas con temperaturas extremas. Poseen además la ventaja adicional de que son rápidamente biodegradables (se descomponen) y carecen de componentes tóxicos, tanto para el medioambiente como para el ser humano.

#### 4.15.2 | Entidades colaboradoras

Verkol S.A. y SOTAVENTO GALICIA S.A. vienen trabajando en el campo de los lubricantes biodegradables, atóxicos y renovables dentro del proyecto cofinanciado con fondos FEDER a través del Ministerio de Ciencia e Innovación.

#### 4.15.3 | Objeto

Se pretenden lubricar todos los elementos de un aerogenerador con lubricantes de origen renovable, atóxicos y biodegradables.

Para ello se ha trabajado en la elección de los fluidos vegetales y de síntesis que se ajustan a los requisitos ecotóxicos y de prestaciones técnicas, así como en la selección de los aditivos que mejoran las prestaciones de las bases lubricantes empleadas, siendo a su vez conformes con a las exigencias del Ecolabel.

#### 4.15.4 I Instalaciones y funcionamiento

Dentro del presente proyecto se ha planteado la utilización de aceites de origen vegetal para la fabricación de fluidos lubricantes en aerogeneradores, donde el origen renovable de los mismos junto con su biodegradabilidad y atoxicidad, puedan aportar un valor añadido dentro del concepto de energías limpias.

Los biolubricantes que se quieren desarrollar en este proyecto son los siguientes:

- ▶ Aceite de engranajes para la multiplicadora
- ▶ Grasa para la lubricación de la corona de orientación

Las características técnicas de los productos a desarrollar vienen fijadas por la aplicación, por los requisitos específicos del sector y por los requisitos medio-ambientales.

##### **Sistemática de diseño**

Se ha establecido un proceso de diseño y desarrollo de lubricantes secuenciado en los siguientes pasos:

- ▶ Definición de características
- ▶ Preparación de prototipos
- ▶ Ensayos de caracterización
- ▶ Ensayos acelerados de laboratorio
- ▶ Pruebas en bancos de ensayo
- ▶ Pruebas de campo

En los biolubricantes utilizados en este proyecto se partió de aceite de girasol alto oleico (HOSO 83%).

##### **Aceite para engranajes de multiplicadoras**

El aceite de engranajes a desarrollar ha de tener una viscosidad de 320 mm<sup>2</sup>/s a 40°C. El HOSO 83% tiene una viscosidad de unos 40 mm<sup>2</sup>/s a 40°C. Esto implicaba el empleo de un espesante que nos permitiese aumentar la viscosidad del fluido base. Además, se han de emplear aditivos para cumplir con los requisitos técnicos exigidos (anti-oxidantes, inhibidores de corrosión, pasivadores de cobre, anti-desgaste, extrema presión y antiespumante de Ecolabel), adaptándose a su vez las exigencias de biodegradabilidad y toxicidad.

##### **Grasa para la corona de orientación**

Desde el punto de vista de su lubricación con grasa, la corona de orientación de los aerogeneradores se caracteriza por:

- ▶ Tener un movimiento de baja amplitud
- ▶ Estar sometida a cargas elevadas
- ▶ Tener los flancos de los dientes en posición vertical
- ▶ Una tendencia a la corrosión alta

El resultado es una grasa con una buena adherencia que evita que se caiga del punto de aplicación, con propiedades anticorrosivas y un excelente resultado en el ensayo de pulverización con agua.

#### 4.15.5 | Situación actual

En la actualidad, y una vez acabado el proyecto, continuamos con la fase de ensayos y demostración del funcionamiento con pruebas de campo que se están desarrollando en el Parque Eólico Experimental Sotavento con un aceite para multiplicadoras y una grasa para coronas de orientación. Con una periodicidad de seis meses se toman de muestras para análisis y evaluación de su comportamiento. Los aerogeneradores que participan en estas pruebas son:

- ▶ AE05: aceite BIOGIR 212 en multiplicadora y grasa BIOGIR 302 en corona de orientación
- ▶ AE09: aceite BIOGIR 212 en multiplicadora
- ▶ AE22: grasa BIOGIR 302 en corona de orientación

#### 4.15.6 | Experiencia y conclusiones

Actualmente se continúan ensayando la grasa y el aceite desarrollados. El funcionamiento es excelente y sin incidencias en el momento de redacción del presente documento, tanto para el aceite de multiplicadora como para la grasa de la corona.

### 4.16 | Evaluación de la eficiencia energética y de la integración de energías renovables en la vivienda bioclimática demostrativa

#### 4.16.1 | Antecedentes

La Fundación Sotavento Galicia dispone en el Parque Eólico Experimental Sotavento de una “vivienda bioclimática demostrativa”, la cual fue inaugurada el 21 de junio de 2010. Posee 240 m<sup>2</sup> construidos bajo criterios bioclimáticos, habiéndose minimizado sus necesidades energéticas de climatización e iluminación, incluyendo además la utilización de fuentes de energía renovable (ver apartado 3.4).

Además de las mencionadas instalaciones, es necesario destacar que la vivienda fue diseñada para ser empleada con fines divulgativos, y sobre todo, como un elemento que permita la investigación y desarrollo de actividades relacionadas con la eficiencia energética, energías renovables y arquitectura bioclimática. En este sentido en la vivienda se han instalado sensores y elementos de control relacionadas con su funcionamiento. Dada la complejidad de este sistema, el número de estos elementos supera las 300 unidades. Entre las variables monitorizadas o controladas cabe destacar:

- ▶ Variables climatológicas (temperatura, humedad relativa, viento, etc.)
- ▶ Temperaturas en las distintas estancias de la vivienda a diferentes alturas y la humedad relativa interior
- ▶ Temperatura, caudal y energía calorífica en los principales circuitos de calefacción.
- ▶ Temperatura del terreno en el entorno de la captación geotérmica
- ▶ Energía eléctrica aportada por las instalaciones eólica y fotovoltaica, así como variables eléctricas relacionadas con su funcionamiento (tensión, corriente, etc.)
- ▶ Actuadores sobre electro-válvulas, orden marcha y paro sobre instalaciones

#### 4.16.2 | Entidades colaboradoras

Los trabajos descritos formaban parte del proyecto “Evaluación de la eficiencia energética y de la integración de energías renovables en la vivienda bioclimática demostrativa del P.E. Experimental Sotavento” (2010-2011) financiado por la Consellería de Economía e Industria (Xunta de Galicia) y dirigido por personal del Departamento de Enerxía Eléctrica de la Universidade de Vigo. En este proyecto han colaborado: GOC S.A., IDI Energía, FAIMEVI y La Fundación Sotavento Galicia aportando los datos monitorizados de la vivienda.

#### 4.16.3 | Objeto

La integración entre los sistemas de climatización, el comportamiento bioclimático de la vivienda y los sistemas de energías renovables definen un sistema complejo al cual se tiene acceso a través de las variables de monitorizadas y de control implantadas. Inicialmente, se implementaron unas estrategias de gestión en las instalaciones que eran susceptibles de mejora para garantizar que la vivienda funciona bajo criterios de eficiencia energética y maximizando la utilización de energías renovables. Estos son los objetivos en los que se ha planteado el proyecto:

- ▶ Maximización de la eficiencia energética de la vivienda
- ▶ Integración de las energías renovables

#### 4.16.4 | Instalaciones y desarrollo

Para conseguir los objetivos mencionados es necesario abordar las siguientes fases:

- ▶ Análisis del recurso eólico, solar y geotérmico
- ▶ Análisis de las instalaciones en servicio y del comportamiento de vivienda
- ▶ Análisis de las variables monitorizadas y de las variables de control. Esta es una de las fases fundamentales del proyecto, ya que de ella depende que se puedan conseguir los objetivos planteados. Esta fase se puede subdividir en:
  - Análisis de coherencia de medidas y actuación y métodos de filtrado de errores

- Propuesta de variables a monitorizar y de variables de control
- Propuesta de estrategias de control

#### 4.16.5 | Situación actual

El proyecto ha finalizado en enero de 2012.

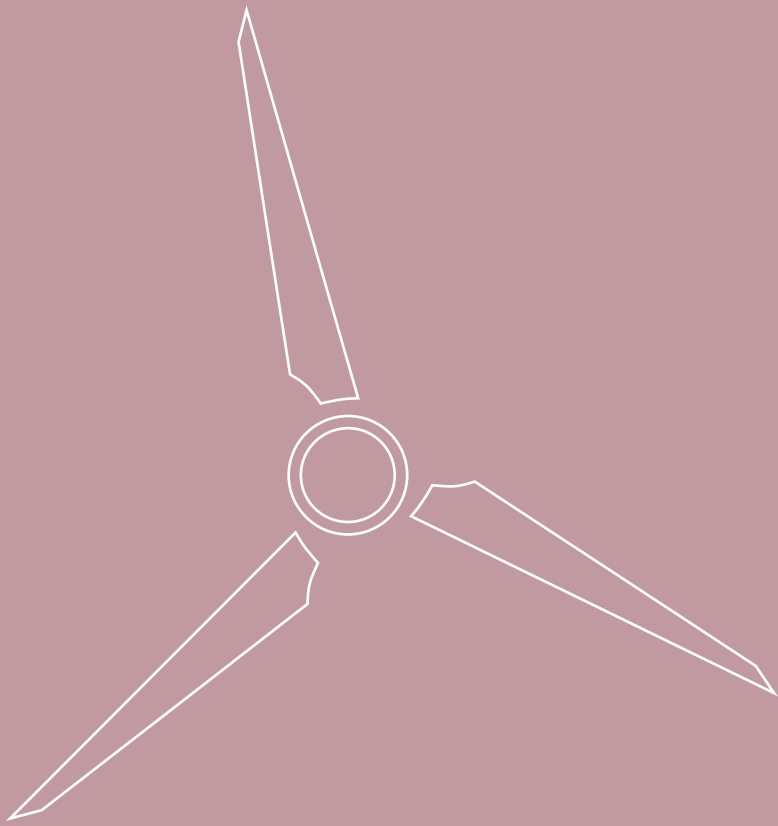
#### 4.16.6 | Experiencia y conclusiones

Los estudios y conclusiones más relevantes han sido:

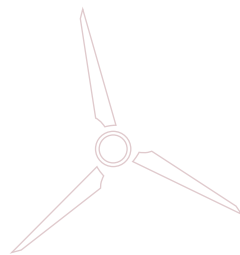
- ▶ Recopilación de la información técnica relacionada con la construcción y el funcionamiento de la vivienda bioclimática
- ▶ Calificación energética de la vivienda
- ▶ Análisis y simulación del comportamiento del acumulador de inercia
- ▶ Análisis del funcionamiento de la instalación geotérmica
- ▶ Desarrollo de herramientas de análisis de los datos de monitorización de la vivienda
- ▶ Desarrollo de herramientas de estimación de estado para los sistemas eólicos y fotovoltaicos
- ▶ Análisis de la generación fotovoltaica (obtención de la curva V-I y análisis de funcionamiento)







Datos económicos

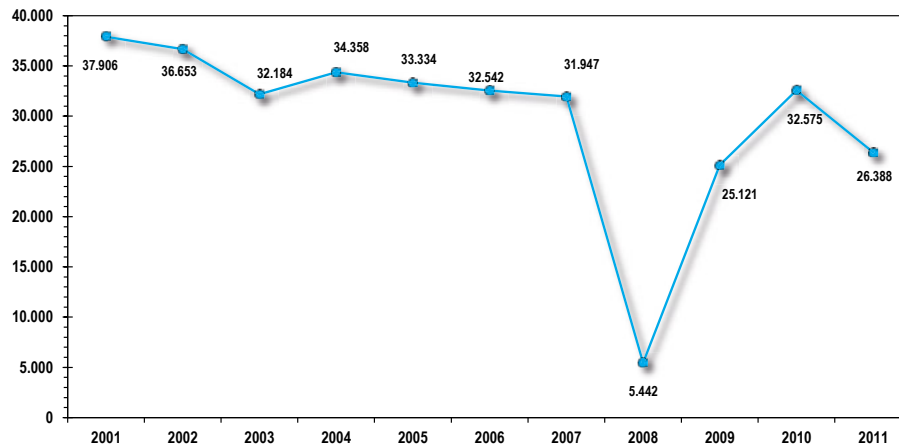




En este capítulo realizaremos un recorrido por la evolución de la energía total generada por el parque, del sistema retributivo y de los costes más significativos para el caso particular del Parque Eólico Experimental Sotavento durante esta primera década de explotación.

## 5.1 | Generación de energía del parque

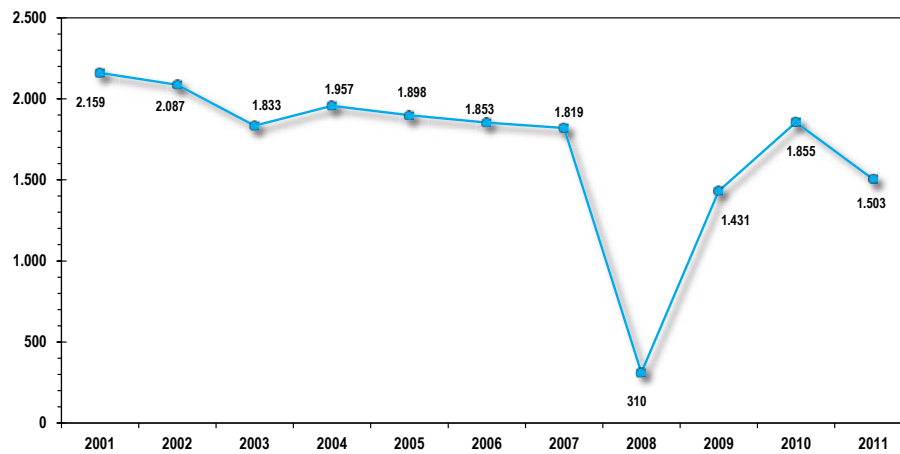
La generación total de energía para el período 2001-2011 en MWh se indica en la Figura 63.



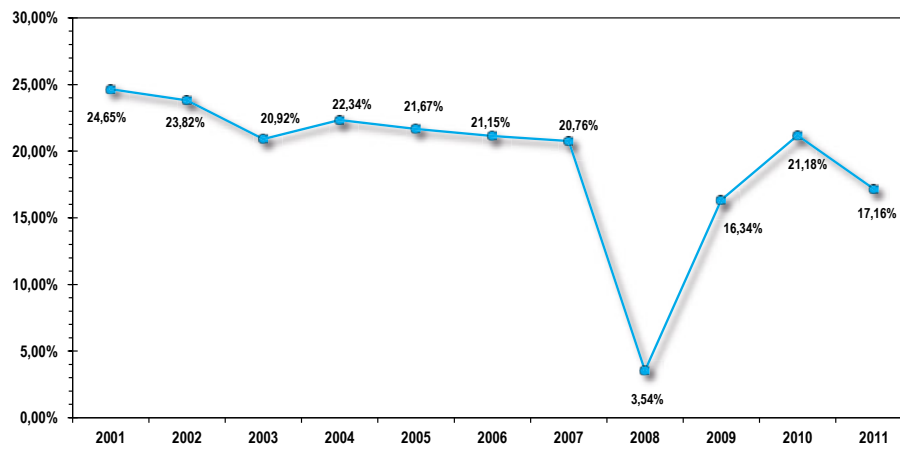
**Figura 63**  
Generación anual de energía (MWh), período 2001-2011

Tal y como ya se ha comentado con anterioridad (apartado: Fallo del transformador de la subestación), el parque estuvo parado un año (febrero de 2008-2009). Este hecho queda perfectamente de manifiesto en la figura superior, en donde la generación en el año 2008 descendió hasta aproximadamente hasta un 1/6 de valor medio que se había registrado en años anteriores, afectando también notablemente al año 2009.

Los datos de generación permiten obtener el comportamiento del parque a nivel de horas equivalentes y de factor de carga, Figuras 64 y 65, donde su comportamiento es análogo al comentado anteriormente para la generación total de energía.



**Figura 64**  
 Horas equivalentes por año del parque, período 2001-2011



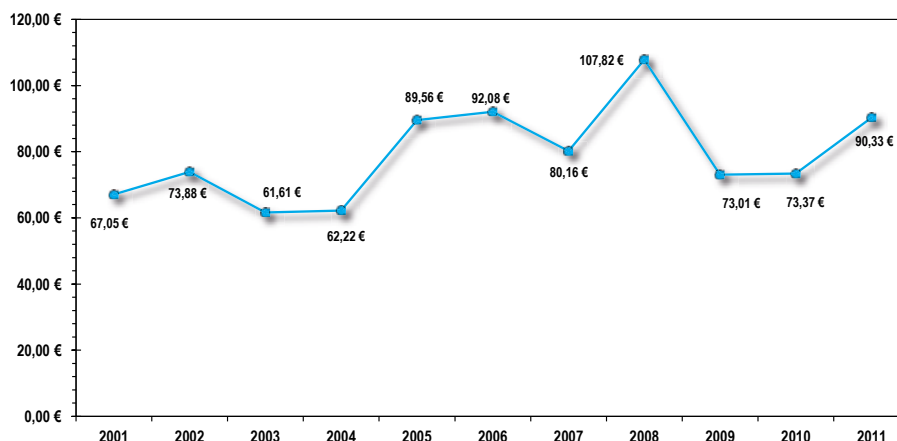
**Figura 65**  
 Factor de carga anual del parque, período 2001-2011.

De la información contenida en los gráficos anteriores, excluyéndose los datos del 2008-2009 por no ser representativos del comportamiento, extraemos las siguientes conclusiones:

- La generación media anual del parque en el período 2001-2011 ha sido de 32.837 MWh
- El número medio de horas equivalentes de generación ha sido de 1.870 horas/año, para un valor medio del factor de carga de 21,3 %

## 5.2 | Sistema retributivo en la energía eólica

El precio de la energía facturada por el parque durante estos diez años ha ido fluctuando de acuerdo a las variaciones sufridas en la legislación y en los distintos componentes que integran el precio total. De modo general, Figura 66 muestra el precio total (€) por MWh.



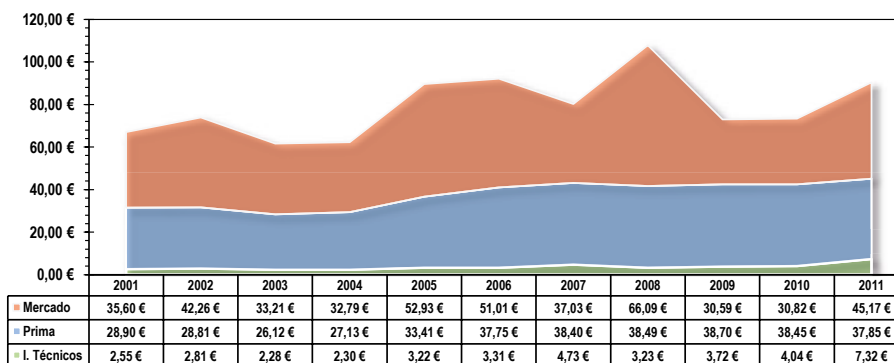
**Figura 66**  
Precio anual (€) por MWh de origen eólico facturado, período 2001-2011

Desglosando el precio final en sus tres componentes principales: prima, mercado e incentivos técnicos, la evolución de cada uno de ellos sería la indicada en la Figura 67. Dentro de la acepción de incentivos técnicos se encuadrarían las distintas bonificaciones/sanciones contempladas en la normativa que han sido de aplicación durante esta década. La Tabla 15 muestra los integrantes vigentes del complemento para cada año.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
E. Reactiva	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Desvíos					●	●	●	●	●	●	●
Incentivo de mercado					●	●	●	●	●	●	●
Garantía de potencia					●	●	●				
Regularizaciones						●	●				●
Huecos de tensión											●

**Tabla 15**  
Integrantes del complemento técnicos, período 2001-2011

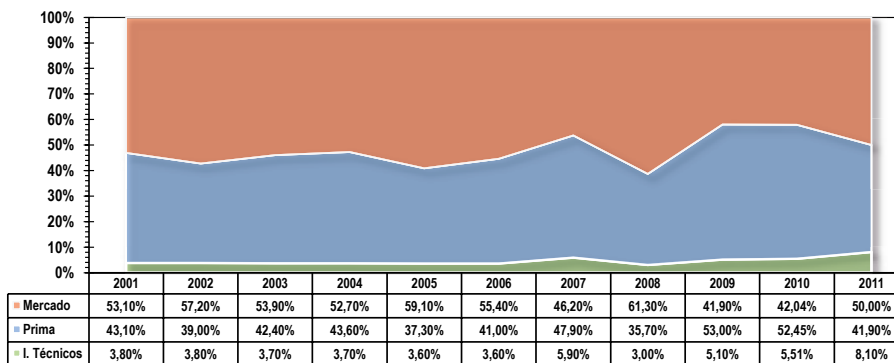
**Figura 67**  
Desglose de la energía facturada en prima, mercado y técnicos en €/MWh



Cabe destacar el comportamiento relativamente estable, de los componentes prima y técnicos (con precio regulado por normativa), siendo las fluctuaciones del precio de mercado las que han marcado en mayor medida el precio de la energía.

En términos porcentuales, la contribución sobre el precio final de cada uno de estos componentes (prima, mercado y técnicos) ha sido la indicada en la Figura 68.

**Figura 68**  
Desglose porcentual de la energía facturada en prima, mercado y técnicos



### 5.3 Características diferenciales de explotación

Desde la experiencia de esta primera década, podemos afirmar que la explotación de una instalación con las características particulares de este parque experimental, que la rentabilidad por MW eólico instalado se ve reducida frente a un parque estándar en el que únicamente existe un modelo comercial de aerogeneradores y en el que no se priorizan actividades de I+D+i relacionadas con la generación y disponibilidad de las máquinas.

Esto implica:

- Mayor número de contratos de mantenimiento (comparación de filosofías de mantenimiento), suponiendo de modo directo un mayor coste de mantenimiento y menor disponibilidad real
- Mayores requerimientos de gestión en repuestos de equipos
- Necesidad de más personal de mantenimiento, mayor nivel de especialización y formación del mismo

En el Capítulo 2 Experiencia de una década de explotación eólica ya se han analizado, entre otros:

- Pérdidas energéticas por incumplimiento de curva de potencia
- Pérdidas energéticas por indisponibilidad
- Costes de mantenimiento como porcentaje de la facturación

Estos tres términos, intrínsecamente ligados a la naturaleza del parque, constituyen una reducción del rendimiento económico.

A modo ejemplarizante, mostramos a continuación la contribución de cada uno de los componentes teóricos y reales que influyen en la facturación; y su relación con los costes de mantenimiento.

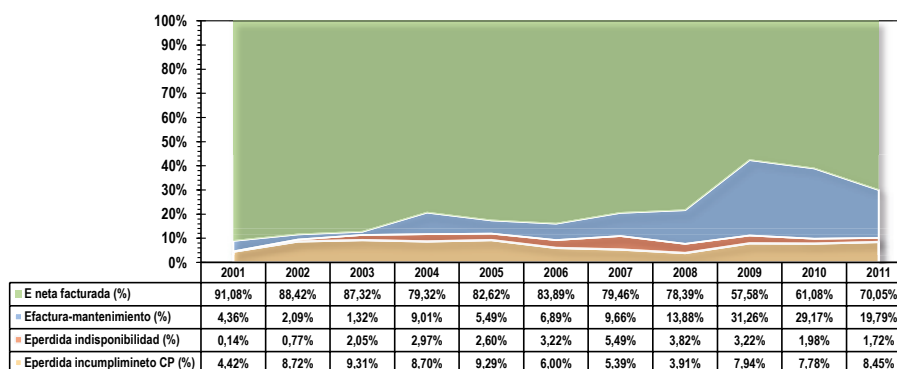
Haciendo uso de la herramienta EFIVENTO, podemos establecer el porcentaje sobre la energía teórica que se ha perdido/ganado en:

- Incumplimientos de curva de potencia
- Pérdidas de indisponibilidad
- Porcentaje destinado a mantenimiento
- Energía neta facturada sobre la teórica, descontado el porcentaje que se destina a mantenimiento

La Figura 69 muestra la evolución de cada una de estas variables. Nuevamente se observa el incremento en los gastos de mantenimiento durante el año de parada del parque y siguientes, con el consecuente estrechamiento del porcentaje de la energía neta facturada.



**Figura 69**  
Composición porcentual de  
la energía teórica, período  
2001-2011



## 5.4 Inversión y financiación

La inversión en inmovilizado material de este parque experimental de 17,56 MW ascendió a unos 17,7 millones de euros. En este montante se incluyen los aerogeneradores y la inversión adicional que hubo que realizar para adaptar los aerogeneradores al cumplimiento de huecos de tensión, la propia construcción del parque, el pago de derechos de ocupación de fincas y la compra de 18 ha de terreno.

A este importe hay que sumarle otros 577.000 € más en el concepto de inmovilizado inmaterial. Esta partida está formada principalmente por los derechos de paso por la realización la línea de 132 kV de 8,633 m para la evacuación de la energía generada y para el desarrollo de distintas aplicaciones informáticas relacionadas con el carácter experimental de la instalación (ver apartados 4.12 y 4.14).

La financiación del proyecto se realizó principalmente mediante la modalidad de “project finance” a través de un préstamo sindicado con ICO y Caixanova (actual Novagalicia Banco).

Los recursos con los que contó el proyecto fueron:

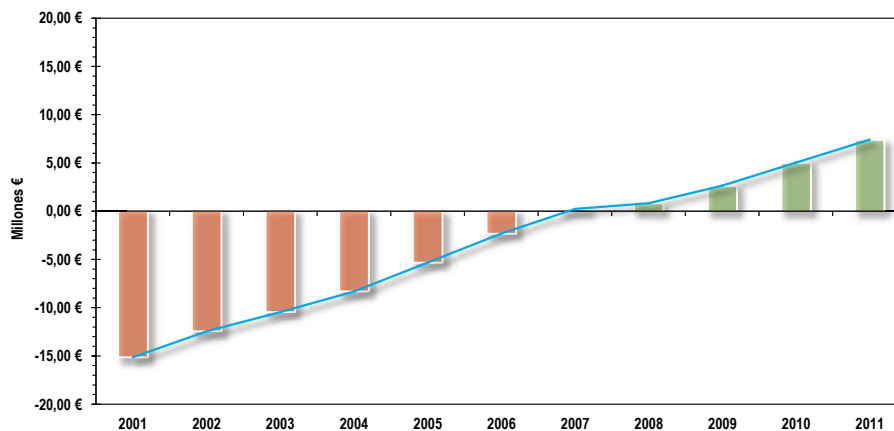
FUENTES DE FINANCIACIÓN	ENTIDADES	IMPORTE (€)
Prestamos Largo Plazo	ICO – Caixanova	10.000.000
Capital social	Socios	601.000
Deuda subordinada	Socios	2.404.000
Subvenciones	Consellería de Industria	1.259.000
	P.A.E.E.	1.577.000
	B.E.I. (Subsidiación tipo de interés)	649.000
Fondos generados por el propio parque		1.205.000
<b>TOTAL FINANCIACIÓN</b>		<b>17.695.000</b>

El proyecto ha demostrado ser viable económicamente a pesar de ser un parque con bastantes condicionantes en contra en relación con otro tipo de instalación comercial.

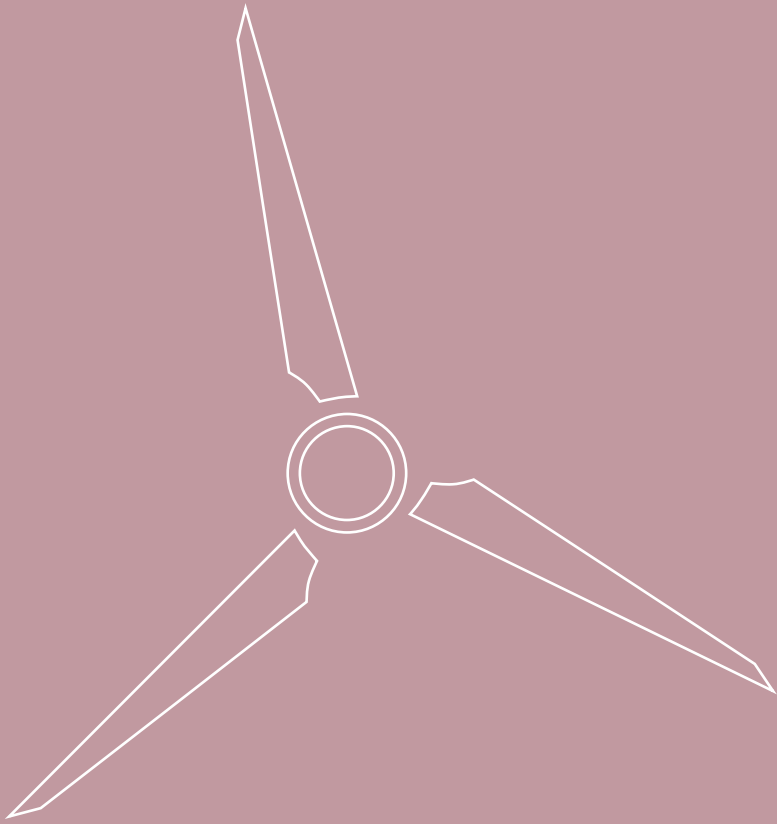
Algunas de las circunstancias desfavorables destacables serían:

- Nueve modelos de máquinas diferentes en un total de 24 aerogeneradores
- Contratos de mantenimiento independientes para cada tipo de tecnología eólica
- Emplazamiento con un 20% viento inferior a la previsión inicial
- Pérdidas de energéticas por incumplimiento de la curva de potencia de 1,881 M€ durante el período 2001-2011
- Pérdidas de energéticas por indisponibilidad de 0,596 M€ para el mismo período
- Empleo de las instalaciones de generación del parque a fines y actividades de I+D+i y formativas
- La financiación parcial con los recursos generados por el propio parque de los proyectos experimentales que se han desarrollado durante la década
- Apoyo económico (como patrón único) a las actuaciones que la Fundación Sotavento Galicia realiza cada año en el ámbito de la divulgación y difusión de las energías renovales

La Figura 70 representa gráficamente la amortización bruta de la inversión inicial de 17,676 M€ teniendo únicamente en cuenta la facturación y despreciando todos los costes financieros y de explotación.



**Figura 70**  
Inversión y amortización bruta del Parque Eólico Experimental Sotavento



Publicaciones técnicas



6



En este capítulo, se enumeran las publicaciones que han surgido como fruto de los proyectos de I+D+i que se han venido desarrollando durante esta primera década y en las que el Parque Eólico Sotavento ha contribuido en mayor o menor medida. Ordenadas cronológicamente, estas serían:

- ▶ Estudio y supervisión de las instalaciones de AT/MT en el Parque Eólico Sotavento, 2003
- ▶ ANEMOS Estudio sobre la Predicción Eólica en la Unión Europea, 2007
- ▶ Estudio y simulación de los sistemas de generación eólica de Sotavento, 2007
- ▶ Estimation of Energy Losses in a Wind Park, 9<sup>th</sup> International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, 2007
- ▶ Coordinated Reactive Compensation in a Wind Park, 9<sup>th</sup> International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, 2007
- ▶ Control Algorithm for Coordinated Reactive Power Compensation in a Wind Park, BEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 23 No5, December 2008
- ▶ Flicker mitigation and voltage sag ride through of a wind turbine using an STATCOM, European Wind Energy Conference 2009
- ▶ PSCAD/EMTDC-Based Modeling and flicker estimation for wind turbines, European Wind Energy Conference 2009
- ▶ Participation of wind parks in voltage control of power system networks, European Wind Energy Conference 2009
- ▶ H<sub>2</sub> production in Sotavento Wind Farm, 18<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2010-WHEC, 2010
- ▶ Memoria de la vivienda bioclimática demostrativa de Sotavento, 2011





Parque Eólico Experimental  
**SOTAVEN10** AÑOS