

ENERGÍA
EÓLICA
WIND
ENERGY



CENER

CENTRO NACIONAL DE
ENERGÍAS RENOVABLES
NATIONAL RENEWABLE
ENERGY CENTRE

CENER. LA ENERGÍA DEL CONOCIMIENTO

El Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) es un centro tecnológico especializado en la investigación aplicada y en el desarrollo y fomento de las energías renovables. Cuenta con una alta cualificación y un reconocido prestigio nacional e internacional. La Fundación CENER-CIEMAT inició su actividad en el año 2002 y su Patronato está formado por el Ministerio de Economía y Competitividad, Ciemat, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y el Gobierno de Navarra. En la actualidad, presta servicios y realiza trabajos de investigación en 6 áreas: eólica, solar térmica y solar fotovoltaica, biomasa, energética edificatoria e integración en red de las energías renovables. CENER está dotado de infraestructuras tecnológicas de última generación, con los más modernos laboratorios e instalaciones a nivel mundial, destacando especialmente el Laboratorio de Ensayos de Aerogeneradores (una infraestructura única en el mundo), el Centro de Biocombustibles de 2ª Generación y una Microrred.

La sede de CENER está localizada en la Ciudad de la Innovación (Sarriguren - Navarra), y dispone de instalaciones y oficinas en otros emplazamientos, como: Sangüesa, Alaiz y Aoiz (en Navarra), Sevilla y Madrid.

www.cener.com

ENERGÍA EÓLICA

El Departamento de Energía Eólica de CENER tiene como finalidad aplicar los resultados de la investigación realizada y prestar asesoramiento técnico en el ámbito de la energía eólica, prestando servicio a todos los agentes del sector, como son: promotores, fabricantes, entidades financieras, operadores, asociaciones y administraciones públicas, tanto nacionales como internacionales.

Se trata en definitiva de mejorar la eficiencia y por lo tanto la competitividad del sector. En este sentido, el Departamento de Energía Eólica de CENER está trabajando en diversos proyectos de investigación, algunos de ellos en colaboración con otros centros tecnológicos, universidades y empresas.

Además del equipo multidisciplinar, merece la pena destacar las importantes infraestructuras tecnológicas de las que dispone el Dpto. de Eólica: el Laboratorio de Ensayo de Aerogeneradores, un Centro de Computación, y el Parque Eólico Experimental en terreno complejo.

CENER. THE ENERGY OF KNOWLEDGE

The National Renewable Energy Centre of Spain (CENER) is a technology centre, specialised in applied research and in the development and promotion of renewable energies. It has excellent qualifications and recognised national and international prestige. The CENER-CIEMAT Foundation started its activity in 2002 and its Board of Trustees is comprised of the Ministry of Economy and Competitiveness, Ciemat, the Ministry of Industry, Energy and Tourism, and the Government of Navarra. It currently provides services and carries out research work in 6 areas: wind, solar thermal and solar photovoltaic, biomass, energy in buildings and renewable energy grid integration. Equipped with cutting-edge technological infrastructures, CENER has the most modern laboratories and facilities worldwide. Noteworthy is its Wind Turbine Test Laboratory (a unique infrastructure in the world), its Experimental Wind Farm, its 2nd Generation Biofuel Centre and its Microgrid.

CENER's headquarters are located in the City of Innovation (Sarriguren-Navarra) although it has facilities and offices at other locations such as, Sangüesa, Alaiz and Aoiz (Navarra), Sevilla and Madrid.

www.cener.com

WIND ENERGY

The aim of the CENER Wind Energy Department is to develop applied research activities and provide technical advice in the wind energy field, offering services to all the players in the sector, such as: promoters, manufacturers, financial entities, operators, public administrations and associations, both at home and abroad.

In short, the aim is to improve the efficiency and therefore the competitiveness of an ever-changing sector. In this regard, the CENER Wind Energy Department works in different research projects, both on its own initiative and in collaboration with technology centres, institutions and enterprises.

Apart from its multidisciplinary team, the Wind Energy Department has important technological infrastructures that deserve to be highlighted, such as: the Wind Turbine Test Laboratory (the only one in the world), a Data Processing Centre, and an Experimental Wind Farm in complex terrain.



▲ Vista general del Laboratorio de Ensayo de Aerogeneradores-LEA CENER. General overview of the Wind Turbine Test Laboratory-LEA CENER.

PARTE 1

1/ ANÁLISIS Y DISEÑO DE AEROGENERADORES (ADA)	/05
2/ EVALUACIÓN Y PREDICCIÓN DE RECURSOS EÓLICOS (EPR)	/11
3/ LABORATORIO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES (LEA)	/14

PART 2

1/ ANALYSIS AND DESIGN OF WIND TURBINES	/19
2/ ASSESSMENT AND PREDICTION OF WIND RESOURCES	/25
3/ WIND TURBINE TEST LABORATORY (LEA)	/28



1/ ANÁLISIS Y DISEÑO DE AEROGENERADORES (ADA)

El objetivo principal del servicio ADA se centra en el desarrollo y aplicación de técnicas avanzadas de diseño para componentes y aerogeneradores.

La optimización de los diseños se realiza gracias a una combinación de los procesos analíticos y de la utilización de las herramientas avanzadas de simulación. Nuestros procedimientos de diseño integral siempre tienen en cuenta las particularidades de los procesos de fabricación y las exigencias de las normas de certificación.

CENER dispone de un equipo técnico altamente cualificado y con experiencia en proyectos de investigación, que desarrollan su actividad en 4 áreas especializadas:

- Aerodinámica y Aeroelasticidad.
- Diseño Estructural de Componentes.
- Algoritmos de Control e Implementación de Controladores.
- Caracterización de Materiales Compuestos y Procesos de Fabricación, en un completo y avanzado Laboratorio.

Este equipo técnico multidisciplinar opera en diferentes áreas de conocimiento, desarrollando investigación y acumulando experiencia práctica experimental:

- Desarrollo de códigos para Plataformas offshore, cables dinámicos y líneas de amarre.
- Diseño de Pala:
 - Cálculos Aeroelásticos y Estructurales.
 - Diseños Aerodinámicos: Perfiles de Palas, Simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamic) y Ensayos en Túnel de Viento.
- Optimización de los componentes estructurales.
- Técnicas de Control avanzadas.

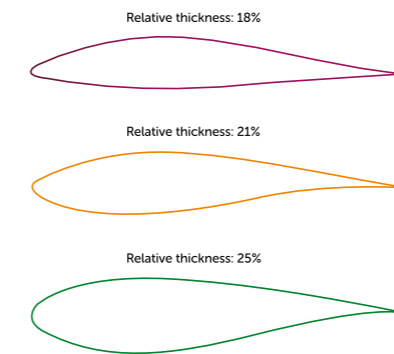
La manera en la que se desarrollan los proyectos y la experiencia acumulada en combinación con la estrecha relación con la industria, permiten realizar actividades y servicios que abarcan desde la asesoría sobre el diseño básico hasta un proyecto del tipo "llave en mano".

DISEÑO AERODINÁMICO- -FAMILIA DE PERFILES CENER

La familia de perfiles aerodinámicos de CENER está orientada a generar diseños de palas para aerogeneradores con un rango de potencias desde 2 MW a 10 MW. Para el diseño de estos perfiles aerodinámicos con Números de Reynolds altos se han considerado los siguientes criterios:

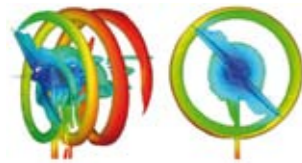
- Bajo nivel de Ruido Acústico y Turbulencias.
- Alta eficiencia.
- Tolerancia a la rugosidad.
- Compatibilidad con el diseño estructural.
- Caracterización completa con CFD y con túnel de viento.

Familia de Perfiles.



ASESORÍA EN AERODINÁMICA

Simulación CFD en 3D de rotor completo.



CENER dispone de excelentes capacidades para proporcionar asesoría técnica en las fases computacional y experimental del diseño de pala del aerogenerador.

En el cálculo computacional CENER utiliza un código in-house CFD compresible y modelos aeroacústicos para caracterizar perfiles, calcular el rendimiento de palas y rotor, así como el efecto de las estelas.

En la evaluación experimental, CENER ofrece los siguientes servicios:

- Selección del Túnel de Viento.
- Especificación de prototipos para ensayo en Túnel de Viento.
- Diseño del programa de ensayos.
- Supervisión del proceso de ensayos.
- Post-proceso de los datos experimentales.
- Evaluación de resultados.
- Simulación CFD / Rotor completo y la interacción con la torre del aerogenerador.

DISEÑO ESTRUCTURAL

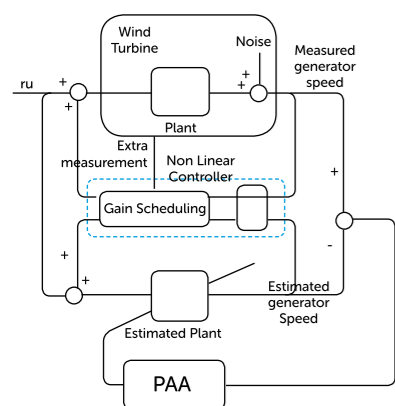
Las líneas de trabajo del área de diseño estructural se centran en la aplicación de técnicas avanzadas de diseño con el fin de solventar modos de fallo local debidos a la compleja interacción de efectos múltiples o estrategias de control, entre otros.

El objetivo consiste en superar los límites de certificación para lograr componentes del aerogenerador más ligeros y a menor coste de fabricación. CENER ha desarrollado

internamente procedimientos analíticos y herramientas avanzadas basadas en análisis por Elementos Finitos, que han sido combinadas de forma eficiente para obtener diseños estructurales óptimos.

El conocimiento técnico y experimental permite al equipo de CENER analizar las causas del fallo, como son: delaminaciones, despegues, pandeo, propagación de grieta y fatiga.

CONTROL DE AEROGENERADORES



Con el propósito de obtener controladores robustos y fiables que tengan la capacidad de reducir las cargas del aerogenerador y optimicen la potencia desarrollada es necesario disponer de nuevos modelos de control. La solución más adecuada consiste en obtener modelos de los componentes del aerogenerador durante el funcionamiento del mismo en lazo cerrado.

Esta técnica permite obtener modelos y generar controladores en cualquier emplazamiento, onshore u offshore, reduciendo el tiempo de implementación en el aerogenerador y aumentando la fiabilidad del sistema.

CENER diseña algoritmos específicos para cada aplicación:

- Controladores para reducción de cargas y maximización de potencia.
- Control colectivo de pitch.
- Control individual de pitch.
- Algoritmos de amortiguamiento de torre para reducción de cargas.
- Estrategias para reducir cargas extremas.
- Control para plataformas flotantes.

Ejemplo de control de aerogeneradores.

LABORATORIO DE MATERIALES COMPUESTOS

CENER ofrece **servicios de caracterización y evaluación de nuevos materiales de palas**, como son:

- Propiedades químicas.
- Propiedades físicas.
- Requisitos de coste y proceso.
- Reocinética de las resinas.
- Propiedades mecánicas, viscosidad, conductividad térmica, etc.
- Ensayo de fatiga.
- Ensayo estático.

Adicionalmente se realizan actividades de apoyo al proceso de fabricación de palas:

- Mejoras y optimización de los procesos: VARI, prepregs, prensa caliente, etc.
- Modificación y definición de nuevos procesos que permitan reducir los tiempos

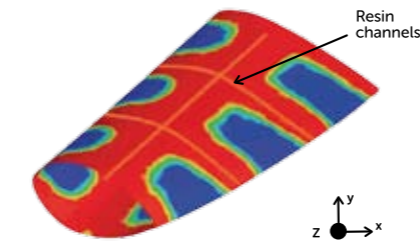
de fabricación mejorando la calidad y la fiabilidad de los mismos.

- Selección de los materiales más adecuados para cada producto y proceso.
- Evaluación de los costes de producción.

Para ello, CENER dispone de las siguientes herramientas:

- Caracterización experimental de la reocinética de las resinas.
- Caracterización experimental de las fibras de refuerzo.
- Simulación numérica de los procesos de llenado de moldes.

El programa de simulación 3D que utiliza modelos empíricos ha sido desarrollado por CENER para calcular los flujos de resina y dar soporte al diseño de moldes y palas.



Simulación de procesado de infusión.



Ensayo de fatiga.

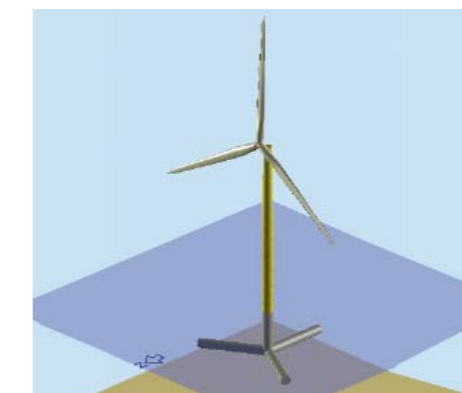


Ensayo estático.

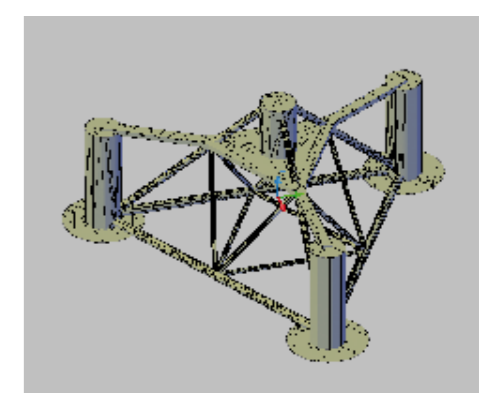
APLICACIONES OFFSHORE

Otra de las especializaciones del equipo ADA del Dpto. de Energía Eólica de CENER es la simulación dinámica de conceptos offshore. La relación entre las cargas hidrodinámicas y aerolásticas han sido estudiadas tanto para soluciones fijas en aguas poco profundas como para soluciones flotantes de aguas profundas (conceptos tipo boya spar, TLP, semi-sumergibles). La caracterización de estas estructuras y los cálculos de cargas

asociados ofrecen datos de entrada en el diseño de componentes y su certificación. CENER ha acoplado al código aerolástico FAST (código internacionalmente utilizado) con un código FEM para la simulación dinámica de líneas de fondeo y cables dinámicos, al igual que modelos de plataformas semi-sumergibles.



Plataforma TLP.



Plataforma semi-sumergible.

PROYECTOS DESTACADOS

INNWIND (2012-2015)

Proyecto del VII Programa Marco de la UE en el que colaboran un consorcio de socios industriales y centros de investigación, muchos de ellos son miembros de la EERA (The European Energy Research Alliance).

El proyecto propone, investiga y valora conceptos innovadores para el diseño de los subsistemas más críticos de los aerogeneradores multimegawatio (10-20 MW); esto es: rotor, conversión electromecánica y estructura de soporte. El objetivo principal es reducir el coste de la energía producida.

Los diferentes conceptos se investigan aislados pero también a nivel del aerogenerador en una aproximación integrada con el resto de componentes. Los beneficios de estos nuevos diseños se cuantifican a través de indicadores de actuación. El proyecto incluye ensayos a pequeña y gran escala y tiene una duración de 5 años.

Las principales tareas de CENER dentro del proyecto consisten en estudios aerodinámicos

y estructurales y en la investigación de nuevos conceptos de aerogeneradores marinos (offshore):

- Diseño de pala con códigos compresibles a altas velocidades de punta de pala.
- Estudio de nuevos conceptos. Concepto de aerogenerador a barlovento y desarrollo de modelos de sombra de torre.
- Diseño de perfiles aerodinámicos para la zona de raíz de pala.
- Utilización de campos de presión distribuida para el diseño estructural de la pala con el objetivo de optimizar los métodos de diseño convencionales.
- Estudio de comportamiento no lineal y efectos de acoplamiento en la estructura de la pala.
- Desarrollo de códigos para el análisis dinámico de líneas de fondeo.
- Diseño de plataformas flotantes para grandes aerogeneradores de eje vertical.
- Realización de ensayos de modelos de aerogenerador a escala en canal de olas.

AZIMUT (2010-2013)

AZIMUT (Energía Eólica Offshore 2020) es un proyecto CENIT del CDTI en el que se trabajan el desarrollo de aerogeneradores flotantes de demostración para emplazamientos marinos en aguas profundas.

Participación CENER:

- Cálculo de fuerzas aerodinámicas vía códigos numéricos, con ensayos en túnel de viento y a través de mediciones en campo para el diseño de grandes aerogeneradores

marinos, con potencias nominales por encima de 10 MW.

- Desarrollo de un mapa de tecnologías para el diseño de grandes aerogeneradores marinos, con potencias nominales por encima de 10 MW.
- Desarrollo de nuevas metodologías de ensayo de canal para eólica offshore flotante e integración de códigos de simulación eólico con códigos del sector sector naval, petróleo y gas.

EOLIA (2007-2010)

Eolia (Tecnologías para Parques Eólicos Offshore en Aguas Profundas) es un proyecto CENIT del CDTI en el que se trabajaron nuevos conceptos de aerogeneradores flotantes para emplazamientos marinos en aguas profundas.

Entre sus objetivos, el proyecto EOLIA liderado por Acciona Group, trataba de establecer nuevas metodologías e innovadoras tecnologías que posibiliten el desarrollo de proyectos de parques eólicos marinos con máquinas de gran potencia >10 MW. Estas nuevas tecnologías facilitarán la viabilidad tanto técnica como ambiental y social de la eólica marina en profundidades superiores a 40 metros.

Participación CENER:

- Generación de 3 conceptos de aerogenerador específicos para aplicación offshore.
- Diseño de nuevos perfiles aerodinámicos y concepto de rotor para aerogenerador marino >10MW, con alta velocidad de punta de pala.

• **Nuevos materiales para:** palas, bastidores, bujes y torres para aerogeneradores marinos.

• **Verificación y mejoras** de códigos de simulación:

- **Intercomparación** de resultados de códigos.
- **Simulación** de tres modelos de plataformas flotantes (TLP, spar y semisumergible) y verificación con otros códigos.
- **Incorporación** de modelo propio de pérdida dinámica, creación de una interfaz gráfica para el análisis de los resultados, creación de una herramienta para el lanzamiento automático de casos.
- **Desarrollo e implementación** de modelo dinámico de líneas de fondeo acoplado con herramienta aeroelástica.
- **Desarrollo de herramientas** para el estudio de líneas adhesivas bajo métodos avanzados basados en la mecánica de la fractura. Validación con ensayos.

AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (AIE) MEXNEXT Fase I (2008-2011)

Se trata de un proyecto internacional en aerodinámica de palas de aerogeneradores, experimentación en túnel de viento de un modelo de aerogenerador completo y mejora de los códigos aerodinámicos.

Comparación de las simulaciones realizadas con códigos aerodinámicos por centros tecnológicos con los resultados experimentales de ensayar un modelo de

aerogenerador en un túnel de viento de DNW.

CENER participó realizando simulación con códigos aerolásticos que incluyen desarrollos propios, la simulación CFD mediante el código avanzado CFD WMB y el contraste de resultados con los obtenidos experimentalmente.

AIE MEXNEXT Fase II (2011-2014)

Desarrollar herramientas de cálculo aerodinámicas avanzadas por medio de validación con un conjunto de diversos experimentos tanto en túnel como en campo, que constituyen lo mejor del estado del arte de las menciones realizadas hasta la fecha. Empresas (Vestas, Suzlon) y centros

tecnológicos participan en este proyecto internacional.

Participación CENER: Aerodinámica Cálculos con FAST y con el código CFD de CENER WMB.

AIE OC3 (2007-2010)

El anexo 23 de la AIE también llamado OC3 (Offshore Codes Comparison Collaborative) consiste en una comparativa de diferentes simulaciones de aerogeneradores offshore realizadas por diversas instituciones (compañías, universidades, centros de investigación...) con diferentes códigos de simulación.

Los objetivos de este ejercicio de comparación consisten en: identificar y verificar las capacidades y las limitaciones de los modelos de análisis de turbinas offshore, también establecer el rango de confianza en las predicciones de los modelos, además de validar metodologías de análisis y por último,

identificar áreas que necesitan una mayor investigación y validación.

Participación CENER:

- **Fase I:** modelo monopilote con diversos tipos de cimentación. Desarrollo de los modelos y simulaciones de los casos con el código FAST.
- **Fase II:** modelo trípode. Modelado del aerogenerador con FAST y acoplamiento con un modelo NASTRAN del trípode.
- **Fase III:** modelo flotante spar-buoy. Colaboración en el desarrollo del modelo para los participantes en el proyecto.

AIE OC4 (2011-2013)

Los objetivos del anexo 30 de la AIE (Offshore Code Comparison Collaborative Continuation) son similares a los del anexo 23, ya que se trata de una continuación de ese proyecto. En particular el anexo 30 pretende centrarse en el estudio de dos tipos de aerogeneradores offshore: una estructura fija tipo jacket (Fase I) y una flotante tipo semisumergibles (Fase II). Además, si se logran obtener datos experimentales o medidos en abierto, se crearía una Fase III

para la comparación de las simulaciones con estos datos.

Participación CENER:

- **Fase II:** modelado de semisumergible. Participación en el desarrollo del modelo y en la simulación de los casos de simulación. El código utilizado será una versión de FAST modificada por CENER y acoplada a un código propio para la simulación dinámica de líneas de fondeo.

UPWIND (2006-2011)

El proyecto UPWIND es uno de los proyectos de referencia del VI Programa Marco de la Unión Europea. Su objetivo principal era diseñar aerogeneradores de gran tamaño para su uso en tierra y condiciones marinas. El proyecto se organizó en paquetes de trabajo transversales que interactúan entre sí para lograr un desarrollo de máquina integral.

Participación de CENER ha consistido en:

1. Estudios aeroelásticos y aeroacústicos de perfiles para máquinas de gran potencia.
2. Desarrollo de herramientas para el estudio de líneas adhesivas bajo métodos avanzados basados en la mecánica de la fractura. Validación con ensayos.
3. Participación en el desarrollo de sistemas de control IPC (Individual Pitch Control).

2/ EVALUACIÓN Y PREDICCIÓN DE RECURSOS EÓLICOS (EPR)



El objetivo principal consiste en poner a disposición de promotores, fabricantes y otros agentes del sector, la última tecnología en evaluación y predicción de recursos en las distintas escalas temporales y físicas, para que sean capaces de afrontar nuevos proyectos.

Desarrolla su actividad dentro del Departamento de Energía Eólica. Está compuesto por un grupo multidisciplinar de ingenieros, físicos y matemáticos que aportan su experiencia y conocimiento desarrollando proyectos de I+D, asistencia técnica y de servicios.

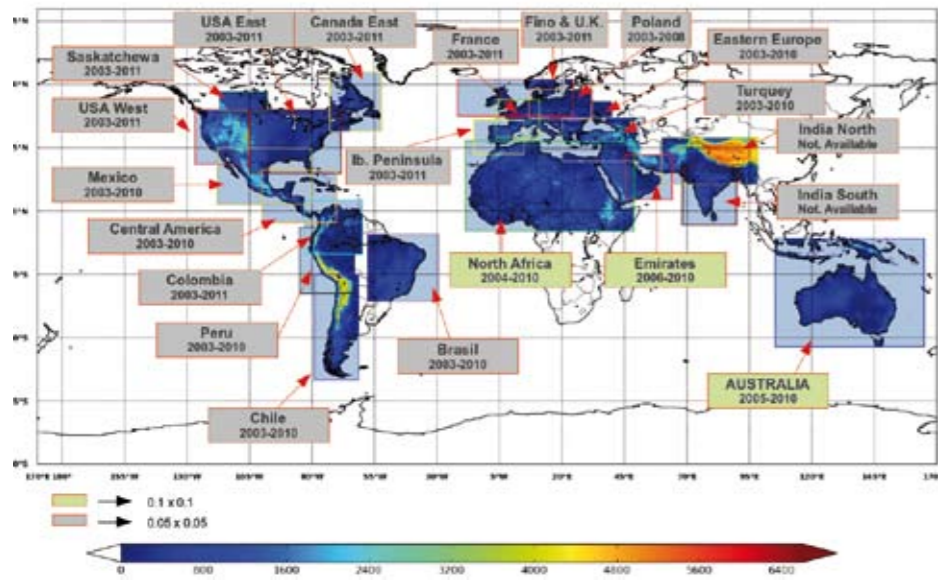
SERVICIOS QUE OFRECE

METODOLOGÍA AVANZADA EN EVALUACIÓN DE RECURSO EÓLICO Y DISEÑO DE PARQUES

- Asistencia técnica para el desarrollo de proyectos internacionales desde la escala país hasta el parque eólico.
- Mapas eólicos de alta resolución y generación de estaciones virtuales en zonas sin medidas. La resolución de nuestros mapas alcanza los centenares de metros y nuestras series virtuales de viento cubren un período de más de 9 años.
- Mapas de anomalías de viento y densidad de potencia. Las variaciones estacionales e

interanuales del recurso eólico se recogen en estos mapas entregados en formato GIS permitiendo al promotor obtener comparativas del recurso en un período concreto y en cualquier parte del mundo.

- Estudio de trayectoria de huracanes. En los países tropicales es imprescindible conocer la probabilidad de que un huracán afecte a un parque. Nuestra herramienta basada en 160 años de mediciones proporciona esta información en las zonas más críticas del planeta.
- Estudios de caracterización de emplazamiento y velocidades extremas.
- Diseño y seguimiento de campañas de medida: mástil y LIDAR.



▲ Dominios simulados y validados con metodología CENER (modelo de mesoescala Skiron).

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RECURSO EÓLICO EN EL MAR

La evaluación de recurso eólico en el entorno offshore presenta peculiaridades asociadas a la estabilidad atmosférica que requieren soluciones específicas.

Los modelos CFD de CENER desarrollados dan respuesta a esta demanda aumentando la precisión y la fiabilidad de los resultados.

MÉTODOS AVANZADOS DE PREDICCIÓN: SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PARQUES EÓLICOS PARA MERCADO DIARIO E INTRADIARIO

Desde CENER se ofrecen predicciones de calidad en los mercados diario e intradiario español basadas en un ensemble de modelos de predicción de corto y largo plazo con los que se presta servicio a algunas de las más importantes empresas eléctricas del país.

CENER ha adquirido una importante experiencia dando soporte técnico en proyectos de desarrollo eólico alrededor del mundo por un valor total superior a 25.000 MW.

CENER publica diariamente a través de su página web (www.cener.com) la predicción meteorológica de viento, nubosidad, lluvia y oleaje de España y Portugal.

LIDAR

El empleo de LIDAR permite realizar una caracterización experimental exhaustiva del flujo de viento en un emplazamiento y complementar las medidas de mástil hasta 200 m. de altura. CENER es especialista en su utilización en terreno complejo mediante técnicas validadas en nuestro Parque Experimental.

PROYECTOS DESTACADOS

El servicio de EPR participa en importantes proyectos, actuando como coordinador en varios de ellos, teniendo como socios a las empresas y los centros de investigación más relevantes del panorama eólico nacional e internacional.

FP7-SAFEWIND (2008-2012)

En este proyecto se estudia cómo mejorar las predicciones de producción eólica en condiciones extremas: grandes fluctuaciones de viento (rampas), condiciones de parada en vientos altos (cut-offs), etc, y se exploran las sinergias entre predicción y evaluación de recurso.

FP7-WAUDIT (2009-2013)

El objetivo del proyecto WAUDIT es la creación de una red europea de jóvenes investigadores en técnicas de evaluación de recurso, con especial énfasis en la estandarización de metodologías. CENER coordina este proyecto y ha acogido el trabajo de cuatro doctorandos.

IEA-WAKEBENCH (2011-2014)

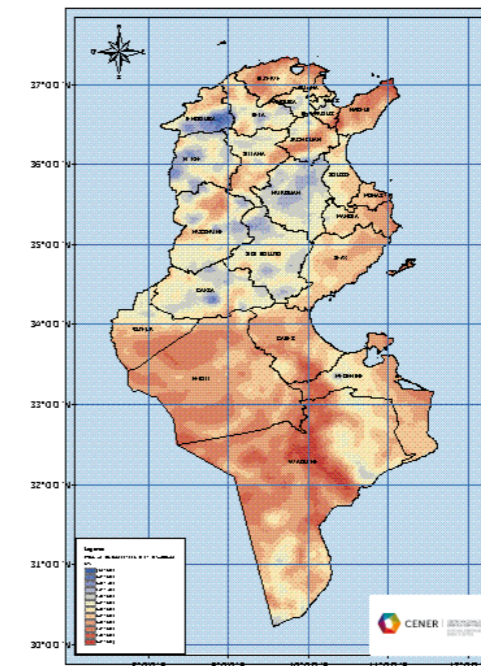
Se trata de una tarea de la Agencia Internacional de la Energía (AIE-Wind), que pretende perfeccionar las técnicas de modelación para mejorar los modelos de capa límite atmosférica y estelas en los aerogeneradores. CENER es el Agente Operador principal en colaboración con NREL (*National Renewable Energy Laboratory-USA*).

INNPACTO-EMERGE (2010-2013)

El objetivo del proyecto es la investigación y desarrollo de un sistema de generación eólica offshore en aguas profundas. CENER se ocupa de evaluar el recurso offshore mediante modelos numéricos de evaluación de recurso a escala regional y para diseño de parques.

MAPA EÓLICO DE TÚNEZ

Proyecto financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y el Gobierno de Navarra en colaboración con el Gobierno de Túnez a través del organismo *Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie (ANME)*.



EERA-DTOC (2012-2015)

EERA-DTOC son las siglas de "Alianza Europea de Investigación de Energía - Herramienta de Diseño de Agrupaciones de Parques Eólicos Offshore".

El proyecto está financiado por la UE dentro del VII Programa Marco (FP7) y está coordinado por el departamento de energía eólica de la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU).

EERA DTOC combina la experiencia en distintos ámbitos de la energía eólica para el desarrollo de una herramienta de software que realice diseños optimizados de parques eólicos offshore y clústeres de parques eólicos.

CENER participa en 5 de los 7 paquetes de trabajo y lidera el paquete de trabajo 3, titulado "estimación de producción energética en parques eólicos offshore" cuyo objetivo es proporcionar una estimación precisa de la producción de energía neta esperada en las agrupaciones de parques eólicos offshore.

3/ LABORATORIO DE ENSAYO DE AEROGENERADORES (LEA)

📍 Laboratorio de Ensayo de Palas.



Es una infraestructura dedicada a pruebas y ensayos de aerogeneradores abarcando desde el ensayo de los componentes hasta el de aerogeneradores completos, según normas internacionales. Además, complementa las labores de investigación de CENER en el campo de la energía eólica.

Se trata de instalaciones de referencia internacional que ocupan una superficie de 30.000 m² en Sangüesa (Navarra). Se trata de una infraestructura única en el mundo tanto por las dimensiones y la potencia de las máquinas que es capaz de ensayar como por la amplia y variada oferta de servicios tecnológicos que presta. El equipo humano que gestiona y opera estos laboratorios está formado por ingenieros y técnicos con amplia experiencia en el sector de la energía eólica.

LABORATORIO DE ENSAYO DE PALAS

Orientado a la realización de ensayos estructurales de palas de acuerdo con la Norma IEC TS-61400-23 (ensayos de caracterización de propiedades físicas, ensayos estáticos y de fatiga).

Dispone de dos posiciones de ensayo diseñadas para longitudes de pala de hasta 75 metros, lo que permite la realización de ensayos estáticos y de fatiga de palas enteras de esa longitud y ensayos estáticos de secciones de palas con longitud nominal de hasta 100 m.

Los laboratorios de CENER están siempre a la vanguardia, adaptando los últimos avances en materia de ensayos, como pueden ser en este momento la extensimetría óptica o la actuación multipunto o multiaxial en los ensayos de fatiga de pala para lo cual dispone de los más avanzados sistemas de actuación y sintonización.

LABORATORIO DE ENSAYOS DE TREN DE POTENCIA

Para ensayar el tren de potencia y opcionalmente su equipamiento eléctrico en aerogeneradores de hasta 7.5 MW.

El banco de ensayos de tren de potencia realiza ensayos acelerados de vida y pruebas funcionales de los aerogeneradores de hasta 8 MW de potencia.

BANCO DE ENSAYOS DE GENERADORES

Para ensayar generadores y equipos de electrónica de potencia de hasta 6 MW que se integran en los mismos:

- Ensayos funcionales y acelerados de vida (mecánicos / eléctricos / térmicos).
- Simulación de transitorios eléctricos. Huecos de tensión.

- Medidas de caracterización de generadores.
- Ensayos de sobrevelocidad y sobrecargas transitorias.

BANCO DE ENSAYOS DE NACELLE

Para la realización de ensayos funcionales en nacelle completa y validar la integración de los sistemas ensayados en los bancos anteriores.

BANCO DE MONTAJE DE NACELLES

Para realizar pruebas de montaje de nacelles:

- Simulación de montaje en campo y de maniobras de mantenimiento.
- Entrenamiento del personal de montaje y mantenimiento de aerogeneradores.

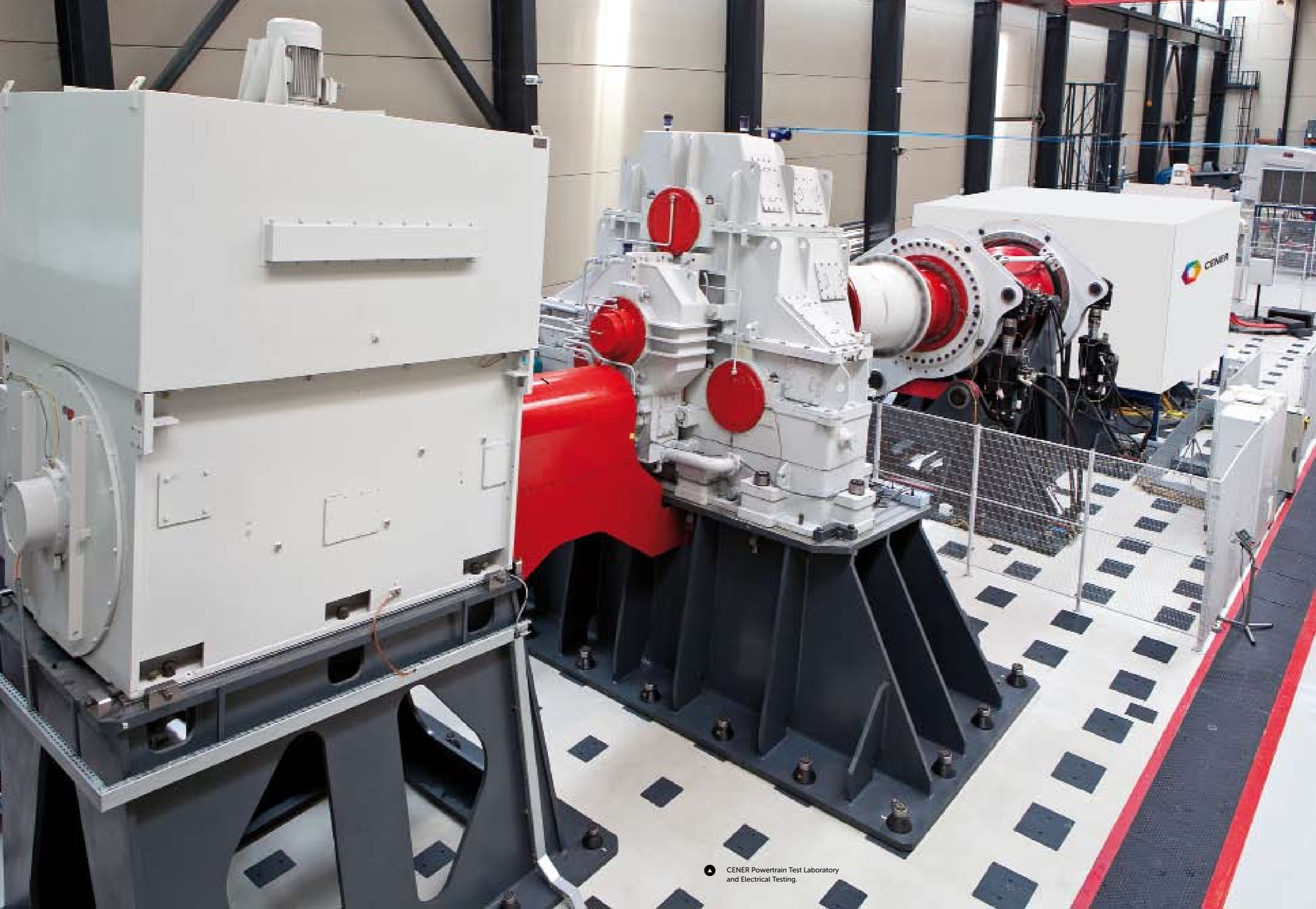
- Validación de procedimientos de montaje utillajes y grúas de montaje, autoportantes.
- Entrenamiento de operaciones de evaluación y seguridad en aerogeneradores..

PARQUE EÓLICO EXPERIMENTAL

De manera complementaria a los servicios de ensayo que se ofrecen en el LEA, CENER ofrece a sus clientes un parque eólico experimental incluido en el Régimen Especial de Instalaciones Experimentales, para sus procesos de

ingeniería de prototipos y certificación para aerogenerador de hasta 5 MW.

El parque dispone de 6 posiciones en terreno complejo.



1/ ANALYSIS AND DESIGN OF WIND TURBINES (ADA)

The main objective of the ADA service is focused on advanced design techniques for the development of wind turbine components.

Proprietary analytical applications and advanced simulation tools are combined in order to obtain optimised designs. Our quality integrated design procedures always take into account the peculiarities of the manufacturing processes and the certification limits.

CENER has a highly qualified team with experience in research projects, carrying out activities in our 4 main areas of expertise:

- Aerodynamics and Aeroelasticity.
- Structural Design of Components.
- Control algorithms and Implementable Controllers.
- Characterisation of Compound Materials and Manufacturing Processes, supported by a fully-equipped Laboratory.

The multidisciplinary team of CENER operates in different areas of knowledge, generating research and practical experience through experimentation.

- Code development for offshore platforms, dynamic cables and mooring lines.
- Blade design:
 - Aeroelasticity and structural calculations.
 - Aerodynamic designs: Aerofoils, CFD (Computational Fluid Dynamic) simulations and wind tunnel tests.
- Stress optimisation of structural components.
- Advanced control techniques

The manner in which projects are organised and the accumulated experience in this unit allow for a close collaboration with industry in different ways, which may range from basic design assessment to a complete turnkey project.

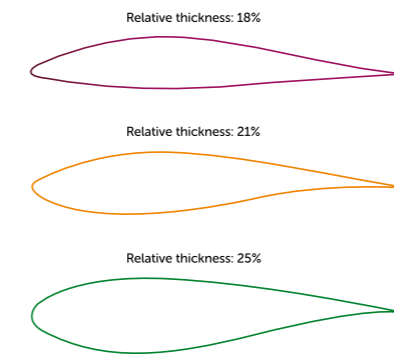


AERODYNAMIC DESIGN-CENER AEROFOIL FAMILY

The CENER aerofoil family is geared towards generating blade designs for wind turbines with powers ranging from 2 MW to 10 MW. These specific high Reynolds aerofoils are designed with the following criteria:

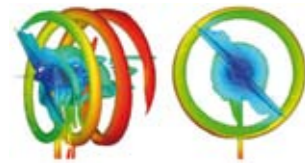
- Low Aeroacoustic Noise and Turbulence
- High efficiency
- Roughness tolerance
- Geometric structural compatibility.
- Full CFD and Wind Tunnel characterisation

▼ Aerofoil family.



AERODYNAMIC CONSULTANCY

▼ 3D CFD Simulation of complete rotor.



CENER has extraordinary capabilities for providing computational and experimental assessment of third-party blade designs.

Computationally, CENER uses a compressible CFD in-house code and aeroacoustic models to characterise aerofoils, to calculate blade and rotor performance, as well as wake effects

Experimentally, CENER can deliver a full service with:

- Wind tunnel selection
- Specifications of wind tunnel models
- Design of the test program
- Supervision of the test process
- Post-processing of experimental data
- Results assessment
- CFD simulation. Full rotor with tower interaction.

STRUCTURAL DESIGN

The structural research work lines are focused on the application of advanced design techniques whose aim is to resolve local failure modes as well as those arising from complex interactions due to coupled effects, control strategies etc.

The target is to challenge the limits of certification to achieve lighter wind turbine components, at a lower production cost. CENER has devised in-house analytical applications and advanced tools based on

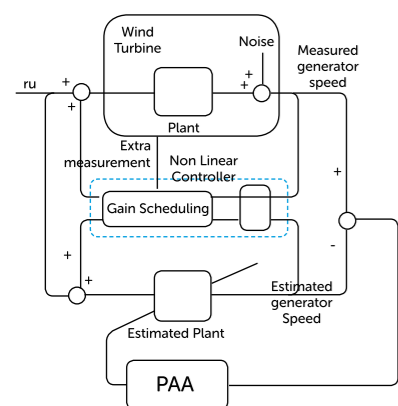
FE analysis, which have been efficiently combined in order to obtain optimal structural designs.

The experimental and design know-how also qualify the CENER team to analyse obscure root cause problems that may lead us to catastrophic failures such as: Delaminations, debonding, buckling, crack propagation and fatigue.

WIND TURBINE CONTROL

In order to achieve robust and reliable controllers that have the capacity to reduce the wind turbine loads and optimise the power developed, new control models must be available. Model identification of the wind turbine, while operating in closed loop, is the most appropriate solution. No more rules of thumb or trial and error in controller tuning methods with unknown control performances should be needed.

Model-based controllers can be designed for each wind turbine at its working site, onshore or offshore, reducing the commissioning time, as well as increasing reliability and performance.



◀ Simulation of the control for wind turbines.

Specific algorithms may be designed by CENER for different purposes:

- Torque controllers for load reduction and power maximisation.
- Collective pitch controllers.
- Individual pitch controllers.
- Tower damping algorithms for load reduction.
- Strategies for extreme load reductions.
- Control for floating platforms.

COMPOSITE MATERIALS LABORATORY

Through its modern composite materials laboratory, CENER provides **assessment and characterisation services for new blade materials**, comprising:

- Chemical properties.
- Physical properties.
- Cost and process requirements.
- Resin rheokinetics.
- Mechanical properties, viscosity, thermal conductivity, etc.
- Fatigue test.
- Static test.

Support activities are also provided for the **blade manufacturing process through:**

- Optimised parameterisation of existing processes: VARI, prepregs, etc.

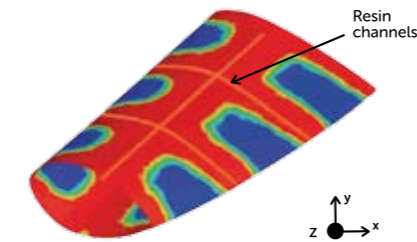
• Modification or definition of processes to reduce manufacturing times and improve both product quality and reliability.

- Selection of the most adequate materials for each product and process.
- Cost and productivity assessment.

To this end, CENER has the following tools:

- Experimental characterisation of resin rheokinetics.
- Experimental permeability characterisation of reinforcements
- Numerical simulation of mould filling processes.

A 3D simulation program that makes use of empirically adjusted models has been developed at CENER to model the resin flows in full-size blade moulds to improve their designs.



▶ Numerical simulation of mould filling processes.



▶ Fatigue test.

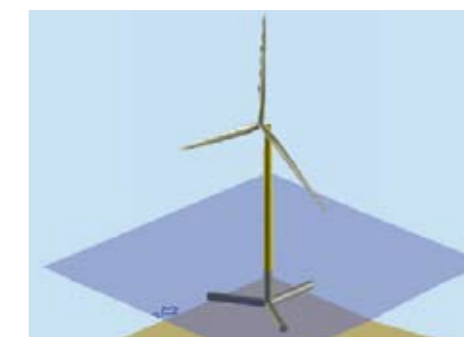


▶ Static test.

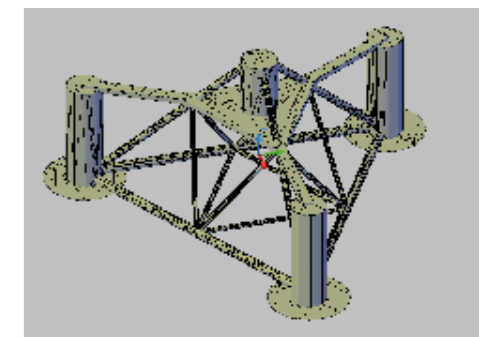
OFFSHORE APPLICATIONS

CENER has extensive experience in simulating the complex dynamics of different offshore concepts. The coupling between hydrodynamic and aeroelastic loads has been studied for both fixed bottom and floating platforms. Focused on the latter, concepts such as spar buoy, TLP, and semi-submersible have been characterised, and the loads calculated may provide valuable input for the design of components and certification purposes.

CENER has coupled to the internationally used FAST code for aeroelastic simulations with the FEM code for the dynamic simulation of mooring lines and dynamic cables, as well as semi-submersible platform models.



▶ Tension Leg Platform.



▶ Semi-submersible Platform.

OUTSTANDING PROJECTS

INNWIND (2012-2015)

Project of the EU's 7th Framework Programme with the collaboration of a consortium of industrial partners and research centres, all of whom are members of the EERA (The European Energy Research Alliance). The project proposes, researches into and evaluates innovative concepts for the design of the most critical subsystems for multi-megawatt wind turbines (10-20 MW); namely: rotor, electromechanical conversion and support structure. The main objective is to reduce the cost of the energy produced.

Research is carried out into the different concepts separately but also at wind turbine level within an integral approach with the other elements. The benefits of these new designs are quantified through action indicators. The project includes small and large-scale trials and will last for 5 years.

CENER's main tasks within the project are to perform aerodynamic and structural studies as well as to research into new offshore wind turbine concepts:

- Design of blades with compressible codes at high blade tip speeds.
- Study of new concepts. Concept of windward wind turbine and development of tower shadow models.
- Design of aerodynamic profiles for the blade root area.
- Use of distributed pressure fields for the structural design of the blade with a view to optimising traditional design methods.
- Study of non-linear behaviour and coupling effects in blade structure.
- Development of codes for the dynamic analysis of mooring lines.
- Design of floating platforms for large vertical axis wind turbines.
- Execution of tests on full-scale wind turbine models in wave canal.

AZIMUT (2010-2013)

AZIMUT (Offshore Wind Energy 2020) is a CENIT project of the CDTI, which focuses on the development of floating demonstration wind turbines for offshore sites in deep water.

CENER participation:

- Calculation of aerodynamic forces via numerical codes, with wind tunnel tests and through field measurements in order to design large offshore wind turbines,

with rated powers of above 10 MW.

- Development of a technology map to design large offshore wind turbines, with rated powers of above 10 MW.
- Development of new channel test methodologies for floating offshore wind energy and wind simulation code integration with codes from the naval-oil & gas sector.

EOLIA (2007-2010)

EOLIA (Technologies for Offshore Wind Farms in Deep Water) is a CENIT project of the CDTI, focused on new floating wind turbine concepts for offshore sites in deep water.

Among its objectives, the EOLIA Project, led by Acciona Group, aims to establish new methodologies and innovative technologies that will make it possible to develop offshore wind farm projects with high-power machines > 10 MW. These new technologies will provide both the technical as well as environmental and social feasibility of offshore wind energy at depths of more than 40 m.

CENER participation:

- Generation of 3 specific wind turbine concepts for offshore application
- Design of new aerodynamic aerofoils and

rotor concept for offshore wind turbine > 10 MW with high blade tip speed.

- **New materials for:** Blades, frames, hubs and towers for offshore wind turbines:
- **Verification and improvements of simulation codes:**
 - **Inter-comparison** of code results
 - **Simulation** of three floating platform models (TLP, spar and semisubmersible) and verification with other codes
 - **Incorporation** of propriety model of dynamic loss, creation of a graphic interface to analyse the results, creation of a tool to automatically launch cases
 - **Introduction** of dynamic mooring line model coupled with aeroelastic tool.
- **Development** and implementation of dynamic mooring line model coupled with aeroelastic tool.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY) MEXNEXT Phase I (2008-2011)

This is an international project on wind turbine blade aerodynamics, experimentation in wind tunnel of a complete wind turbine model and improvement of aerodynamic codes.

Comparison of the simulations carried out with aerodynamic codes by technology centres with the experimental results from testing a wind turbine model in a DNW wind tunnel.

CENER participates by carrying out simulation with aeroelastic codes, which include propriety developments, CFD simulation by advanced CFD WMB code and contrasting results with those obtained experimentally.

IEA MEXNEXT Phase II (2011-2014)

Develop advanced aerodynamic calculation tools by means of validation with a series of different experiments both in tunnel and in field, which constitute the best of the state-of-the-art of the mentions made to date. Companies (Vestas, Suzlon) and technology

centres participate in this international project.

CENER participation: Aerodynamic calculation with FAST and with the CENER WMB CFD code.

AIE OC3 (2007-2010)

Annex 23 of the IEA, also called OC3 (Offshore Codes Comparison Collaborative) consists in comparing several offshore wind turbine simulations carried out by different institutions (companies, universities, research centres, etc.) with various simulation codes.

The objectives of this comparison exercise are: To identify and verify the capacities and limitations of the offshore turbine analysis models, as well as to establish a range of confidence in the model predictions, as well as to establish analysis methodologies. A final aim is to identify areas that need further research and validation.

CENER participation:

- **Phase I:** Monopilot model with different foundation types. Development of the models and simulations of the cases with the FAST code.
- **Phase II:** Tripod model. Wind turbine modelling with FAST and coupling with a NASTRAN tripod model.
- **Phase III:** Spar-buoy floating model. Collaboration in the development of the model for participants in the project.

AIE OC4 (2011-2013)

The objectives of annex 30 of the IEA (Offshore Code Comparison Collaborative Continuation) are similar to those of annex 23 as it is a continuation of that project. Annex 30 especially aims to focus on the study of two types of offshore wind turbines: a jacket type fixed structure (Phase I) and a semisubmersible type floating structure (Phase II). If experimental data or open measured data can be obtained, a third phase would be created to compare the simulations with these data.

CENER participation:

- **Phase II:** Semisubmersible modelling. Participation in the model development and in the simulation of the simulation cases. The code used will be a FAST version modified by CENER and coupled to a propriety code for the dynamic simulation of mooring lines.

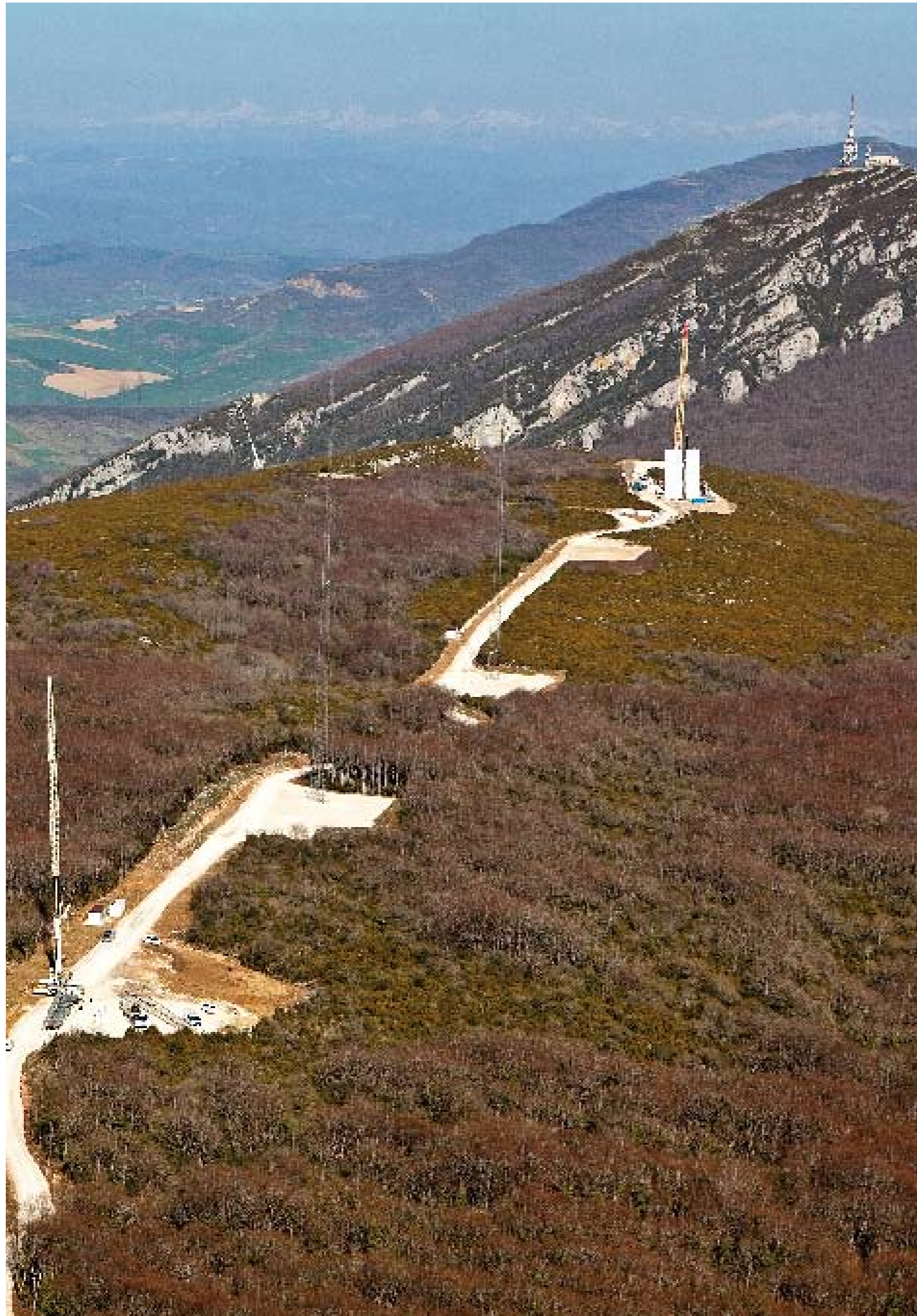
UPWIND (2006-2011)

The UPWIND project is one of the reference projects of the VI Framework Programme of the European Union. It looked towards the design of large wind turbines for use in onshore and offshore conditions. The project is organised into crosscutting work packages that interact with each other to achieve an integrated machine development.

CENER participation:

1. Aeroelastic and aeroacoustic studies of aerofoils for large machines.
2. Developments of tools to study adhesive lines under advanced methods based on fracture mechanics. Validation with tests.
3. Participation in the development of IPC (Individual Pitch Control) control systems.

2/ ASSESSMENT AND PREDICTION OF WIND RESOURCES (EPR)



The main objective consists in placing the latest technology related to the assessment and prediction of resources in different time and physical scales at the disposal of promoters, other players in the sector and wind energy manufacturers, to enable them to cope with new projects.

It develops its activity within the Wind Energy Department. It is comprised of a multidisciplinary group of engineers, physicians and mathematicians that provide their experience and knowledge by developing R&D projects, technical assistance and services.

SERVICES OFFERED

ADVANCED METHODOLOGY IN WIND RESOURCE ASSESSMENT AND FARM DESIGN

- Technical assistance to develop international projects from the country scale to the wind farm.
- High-resolution wind maps and generation of virtual stations in areas without measurements. The resolution of our maps reaches hundreds of metres and our virtual wind series cover longer than a 9-year period.
- Wind anomaly and power density maps. Seasonal and inter-annual variations of the wind resource are included in these maps presented in GIS formats, enabling the promoter to obtain resource comparisons within a specific period and anywhere in the world.
- Hurricane path study. In tropical countries it is essential to know the probability of a

hurricane affecting the farm. Our tool, based on 160 years' measurements, provides this information in the more critical areas of the planet.

- Characterisation studies of site and extreme speeds.
- Design and monitoring of measurement campaigns: Mast and LIDAR.

WIND RESOURCE ASSESSMENT METHODOLOGY IN THE SEA

Wind resource assessment in offshore environment presents peculiarities associated with the atmospheric stability that require specific solutions. The CFD models developed by CENER provide a response to this demand, increasing the precision and reliability of the results.

ADVANCE PREDICTION MODELS:

WIND FARM PREDICTION SYSTEM FOR DAILY AND INTRA-DAILY MARKET

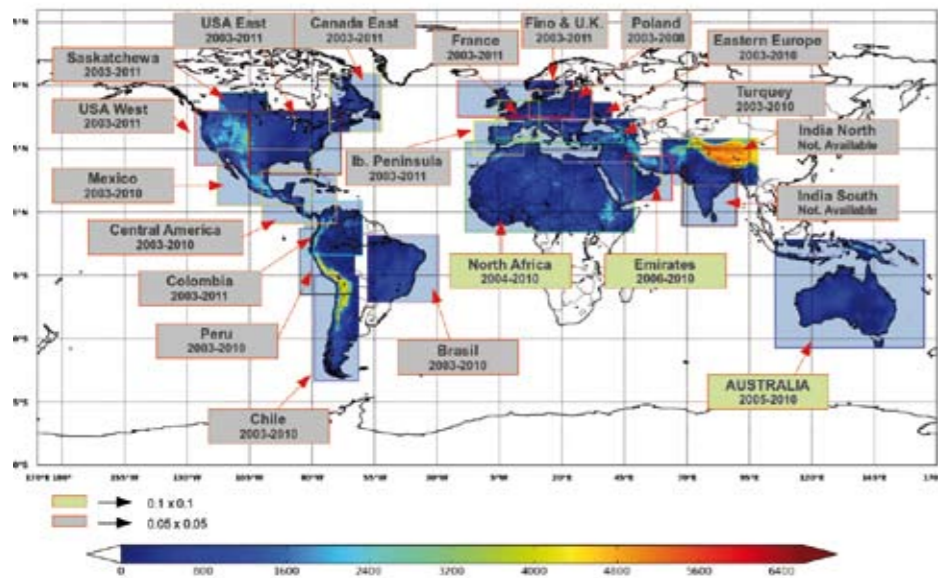
CENER offers quality predictions in both the daily and intra-daily Spanish markets, based on an ensemble of short and long-term prediction models with which it provides a service to some of the most important electricity companies in the country.

CENER has acquired considerable expertise giving technical support in wind development projects around the world for a total value of more than 25,000 MW.

On its website (www.cener.com) CENER publishes the wind, clouds, rainfall and waves forecast for both Spain and Portugal each day.

LIDAR

The use of LIDAR permits carrying out an exhaustive experimental characterisation of the wind flow on a site and complementing the mast measurements up to 200 m high. CENER are specialists in its use in complex terrain by means of the techniques validated at our Experimental Farm.



Domains simulate and validated with the CENER methodology (Skiron mesoscale model).

OUTSTANDING PROJECTS

The EPR service has participated in several projects (in some as coordinator), where its partners have been the most relevant research centres and companies in the national and international wind scenario.

FP7-SAFEWIND (2008-2012)

This project studies how to improve the wind production predictions in extreme conditions: Large wind fluctuations (ramps), high wind cut-offs, etc and the synergies between prediction and resource assessment are explored.

FP7-WAUDIT (2009-2013)

The objective of the WAUDIT project is to create a European network of young researchers in resource assessment techniques, with special emphasis on methodology standardisation. CENER coordinates this project and has included the work of four doctoral students.

IEA-WAKEBENCH (2011-2014)

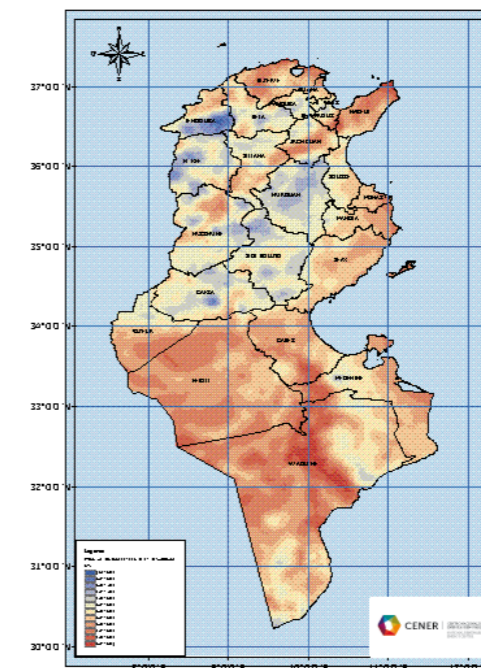
This is a task of the International Energy Agency (IEA-Wind), whose aim is to enhance the modelling techniques to improve the atmospheric boundary layer models and wind turbine wakes. CENER is the main operating agent in collaboration with NREL (National Renewable Energy Laboratory-USA).

INNPACTO-EMERGE (2010-2013)

The objective of the project is the research and development of an offshore wind generation system in deep water. CENER's job is to assess the offshore resource using numerical resource assessment models at a regional scale and for the design of farms.

WIND MAP OF TUNISIA

Project financed by the Spanish Agency of International Cooperation for Development (AECID) and the Government of Navarra in collaboration with the Government of Tunisia through the agency, Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie (ANME).



EERA-DTOC

EERA-DTOC stands for the European Energy Research Alliance - Design Tool for Offshore Wind Farm Cluster.

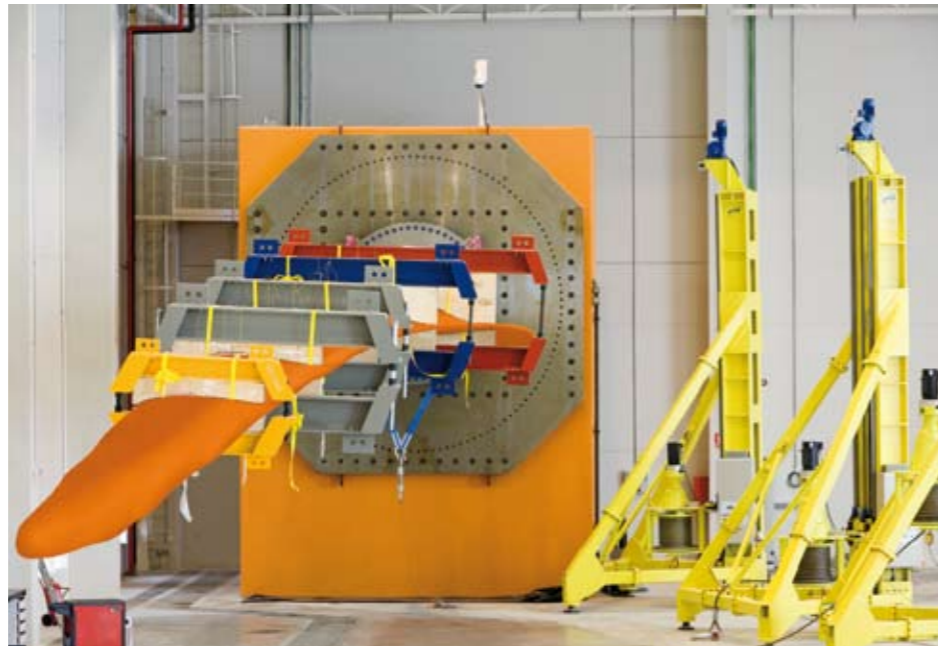
The project is funded by the EU – 7th Framework Programme (FP7) – and runs from January 2012 to June 2015. It is coordinated by the Technical University of Denmark - DTU Wind Energy.

The EERA-DTOC project combines expertise to develop a multidisciplinary integrated software tool for optimized design of offshore wind farms and clusters of wind farms.

CENER participates in 5 of the 7 work packages and leads the work package 3, entitled "Energy yield prediction of wind farm clusters" whose objective is to provide an accurate value of the expected net energy yield from clusters of offshore wind farms.

3/ WIND TURBINE TEST LABORATORY (LEA)

▼ Blade Test Laboratory.



This is an infrastructure engaged in performing tests and trials on wind turbines, ranging from tests on components to tests on complete wind turbines, according to international standards. It also complements the research work of CENER, in the field of wind energy.

These are international benchmark facilities that occupy a total surface area of 30,000 m² in Sangüesa (Navarra). This is a unique facility in the world both in terms of size and the power of the machinery it is capable of testing, as well as in terms of the extensive variety of technological services it offers. The team that manages and operates these laboratories is comprised of engineers and technicians with broad experience in the wind energy sector.

BLADE TEST LABORATORY

Its aim is to perform structural tests on blades in agreement with IEC TS-61400-23 Standard (characterisation tests on physical properties, static and fatigue tests).

It has two test positions designed for effective blade lengths of up to 75 metres, which enables static and fatigue tests to be performed on whole blades of this length, as well as static tests on section of blades with a nominal length of up to 100 m.

The CENER laboratories are always at the cutting edge, adapting the latest advances in test material, which currently include an optical extensometer or multipoint or multi-axial action in blade fatigue tests for which it has the most advanced tuning and action systems available.

POWERTRAIN TEST LABORATORY

To test the powertrain and optionally its electrical equipment in wind turbines of up to 7,5 MW. The powertrain test bench performs accelerated ageing tests and functional tests on wind turbines of up to 8 MW power.

GENERATOR TEST BENCH

To test generators and electronic power equipment of WTG up to 6MW integrated into them:

- Functional and accelerated ageing tests (mechanical/electrical/thermal).

- Electrical transient simulation. Voltage dips.
- Generator characterisation measurements.
- Functional tests.
- Overspeed tests and transient surges.

NACELLE TEST BENCH

To perform functional tests on complete nacelle and validate the integration of the tested system into the previous benches.

NACELLES ASSEMBLY BENCH

To perform nacelle assembly tests:

- Simulation of field assembly and maintenance operations.
- Training personnel in the assembly and maintenance of wind turbines.
- Training in assessment and safety operations in wind turbines.

EXPERIMENTAL WIND FARM

In addition to the test services offered at the LEA, CENER offers its customers an experimental wind farm included within the Special Regime for Experimental Facilities for

their prototype engineering processes and certification for wind turbines of up to 5 MW. The windfarm has 6 calibrated sites in complex terrain.



ENERGÍA EÓLICA WIND ENERGY

CENTRO NACIONAL
DE ENERGÍAS RENOVABLES
NATIONAL RENEWABLE
ENERGY CENTRE

Centro tecnológico de alta
cualificación y prestigio
internacional, especializado
en la investigación aplicada
y el desarrollo y fomento
de las energías renovables
Highly qualified and
Internationally recognized
technology centre, specialized
in applied research and
development and promotion
of renewable energies.

CONTACTO CONTACT

Ciudad de la Innovación, 7
31621 Sarriguren
Navarra - España
T +34 948 25 28 00

Póligono Industrial Rocafort G2 - H1
31400 Sangüesa
Navarra - España
T: +34 948 87 17 45

info@cener.com
www.cener.com



• CENER

© CENER. ALL RIGHTS RESERVED.
REPRODUCTION OF THE WHOLE OR ANY
PART OF THE CONTENTS IS PROHIBITED.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Cimac
Centro de Investigación
Energética, Mecánica
y Tecnología

