

ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA
PHOTOVOLTAIC
SOLAR 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) y Sevilla.

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), and Seville.

www.cener.com

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El Departamento de ESFV tiene como objetivo principal la reducción del coste del kWh producido por medios fotovoltaicos. Es el punto intermedio entre la investigación básica y los entornos industriales de fabricación.

La actividad de I+D+i se complementa con servicios de validación y certificación de componentes, incluida la de plantas fotovoltaicas para generación de energía eléctrica.

Las infraestructuras para ensayos e investigación ocupan más de 700 m² y están dotadas de equipos de última generación tanto en los aspectos de prueba de componentes (módulos, inversores, seguidores...), como en el ámbito de la investigación en tecnología de materiales y procesos para fabricación de células fotovoltaicas. También dispone de un emplazamiento en Almería para pruebas en exterior que requieran altas dosis de radiación solar continuada.

Gracias a la variada cualificación técnica de sus miembros, las actividades del Dpto. abarcan aspectos que van desde el estudio de los materiales y tecnologías de célula y módulo, hasta el diseño y prueba de la instalación fotovoltaica una vez finalizada y produciendo energía.

El Departamento de ESFV está constituido por 2 entornos de conocimiento: Sistemas Fotovoltaicos y Células Fotovoltaicas.

The aim of Photovoltaic Solar Energy Department is to support the industrial sector and to contribute to reducing the costs of kWh produced by PV means. The department is midway between basic research and industrial manufacturing environments.

R&D+i activities are complemented with components validation and other certification services, including PV solar plants to generate electricity.

The infrastructures for testing and research are deployed over more than 700 m². Laboratories are equipped with cutting-edge tools in both aspects, the testing of components (PV modules, inverters, trackers...) and the research in materials technology and process for PV cells fabrication. The outdoor tests requiring high dose and continuous radiation are done in Almería.

The diverse technical qualifications of department members enable the development of activities ranging from the study of photovoltaic cell materials and technologies technologies for PV cells and modules up to the design and testing of the final PV plant.

The PV Department includes two knowledge environments: Photovoltaic Systems and Photovoltaic Cells.

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY



▲ Edificio CENER.
CENER building.

ÍNDICE

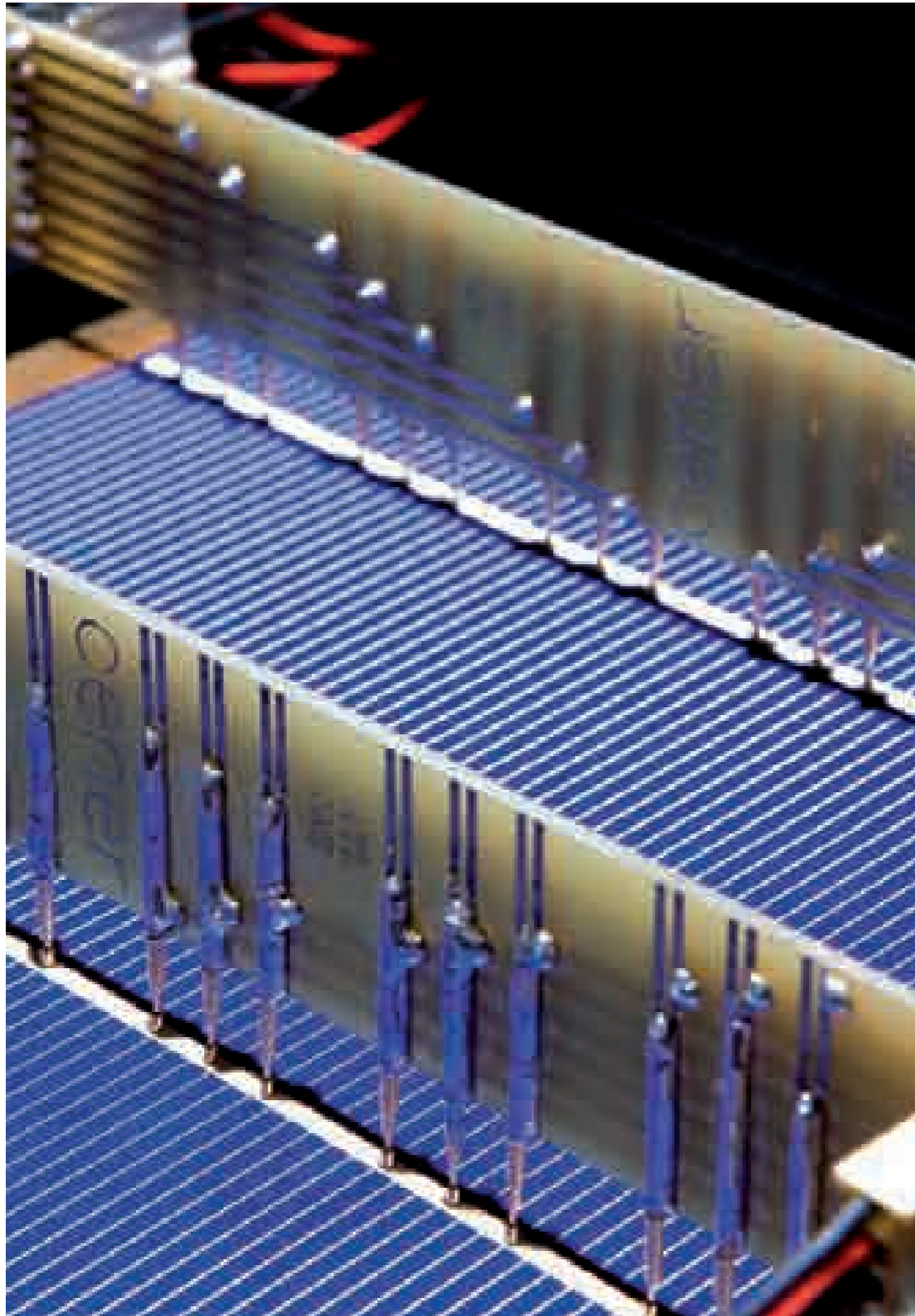
1/ CÉLULAS FOTOVOLTAICAS /04

2/ SISTEMAS FOTOVOLTAICOS /08

CONTENTS

1/ PHOTOVOLTAIC CELLS /04

2/ PHOTOVOLTAIC SYSTEMS /08



1/ CÉLULAS FOTOVOLTAICAS PHOTOVOLTAIC CELLS

CENER tiene actividad en todas las etapas para la producción de una célula fotovoltaica, desde el estudio de los materiales individuales (absorbentes, conductores, antireflectantes,...), pasando por los procesos de fabricación y acabando en la caracterización final del dispositivo obtenido.

CENER is actively involved at all stages of photovoltaic cell production, from the study of the individual materials (absorbents, conductors, anti-reflective, ...), through the manufacturing process and the final characterization of the device.

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Análisis, caracterización y diagnóstico de células fotovoltaicas de cualquier tecnología (silicio cristalino a partir de oblea, a-Si, CIS, CdTe, III-V, OPV...) y los distintos materiales que las componen.

- Evaluación eléctrica, óptica y estructural de materiales (lámina delgada y volumen):
 - Resistencia de capa, conductancia, espesores, perfilometría con resolución nanométrica, propiedades mecánicas de obleas de silicio, etc...
 - Elipsometría, reflectancia y transmitancia (con resolución espectral).
 - Sinton, DLTS, PCD, LBIC.
 - SEM-EDX, AFM.
- Caracterización y diagnóstico de células fotovoltaicas:
 - Curva I-V y determinación de potencia (según IEC-60904).
 - Respuesta espectral.
 - Coeficientes de temperatura.
 - Termografía por Lock-in.
 - Electroluminiscencia.

CHARACTERIZATION OF PHOTOVOLTAIC CELLS AND MATERIALS

Analysis, characterization and diagnosis of any PV cell technology (wafer -based crystalline silicon, a/ μ c-Si, CIS, CdTe, III-V, OPV...) and their different materials.

- Electrical, optical and structural materials assesment (both thin film and volume):
 - Sheet resistance, conductance, thickness, profilometry with nanometric resolution, mechanical properties of silicon wafers....
 - Ellipsometry, reflectance and transmittance (spectrally resolved).
 - Sinton, DLTS, PCD, LBIC.
 - SEM-EDX, AFM.
- Photovoltaic Cells diagnosis and characterization:
 - I-V curve and power determination (as of IEC-60904).
 - Spectral response.
 - Temperature coefficients.
 - Lock-in thermography.
 - Electroluminiscence.

▼ Sala de Lámina Delgada.
Thin Film Technology room.



CENER dispone de una línea piloto flexible para la fabricación de células fotovoltaicas de silicio cristalino a partir de oblea para sustratos de tamaño industrial (15cm x 15cm). El equipamiento permite trabajar en las tecnologías mayoritarias "screen printed", así como en los nuevos desarrollos de procesos con contactos posteriores, emisores selectivos, heterouniones y procesado mediante láser. La posibilidad de integrar todos los procesos individuales para la obtención de la célula, junto con la utilización de las técnicas para caracterización de los materiales y de los dispositivos obtenidos permite conseguir un profundo conocimiento de las tecnologías y de sus márgenes de proceso.

ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

- Simulaciones mediante software de los diferentes procesos individuales en cada tecnología (difusión de Fósforo, ataques secos y húmedos, anti-reflectante, contactos y metalizaciones).
- Análisis de sensibilidad, margen de proceso y distribución espacial de los parámetros críticos de cada proceso individual.
- Confirmación experimental de resultados, a tamaño 15 cm x 15 cm.
- Caracterización y diagnóstico del funcionamiento de la célula fotovoltaica y re-alimentación a las condiciones de proceso utilizadas.

DESARROLLO DE TECNOLOGÍA DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

- Nuevos procesos para células fotovoltaicas (contactos posteriores, heterouniones, emisores selectivos), de silicio cristalino a partir de oblea a tamaño industrial (15 cm x 15 cm).
- Innovación en lámina delgada de silicio amorfo y microcristalino (células sobre materiales flexibles, transparentes, textiles...).
- Células fotovoltaicas con absorbente orgánico.

▼ Caracterización de células FV.
PV cell characterization.



CENER has a flexible pilot line for the fabrication of wafer-based crystalline silicon PV cells using industrial size substrates (15cm x 15cm). The equipment enables conventional "screen printed" technologies to be worked with, as well as new developments in processes with back contacts, selective emitters, heterojunctions and laser-assisted processing. The ability to integrate all individual steps to obtain a PV cell, together with the use of techniques for the characterization of the materials and the devices obtained provides us with a thorough understanding of the technology and its process margins.

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION TECHNOLOGIES FOR SOLAR CELLS

- Software simulation of individual technology steps (P-diffusion, wet and dry etch, ARC, contacts and metallization).
- Sensitivity analysis, process margin and spatial distribution of critical parameters in every individual process.
- Experimental confirmation of results, all in 15 cm x 15 cm sample size.
- Characterization and diagnostic of PV cell performance for feed-back to the processing technology steps.

DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC CELL TECHNOLOGIES

- New processes for wafer based crystalline silicon solar cells from industrial size (15cm x 15cm) substrates.
- Innovation in thin film, amorphous and microcrystalline silicon (cells on flexible materials, transparent, textile ...).
- Organic photovoltaic cells.

CONSULTORÍA EN ENTORNOS DE PRODUCCIÓN DE CÉLULAS Y COMPONENTES FOTOVOLTAICOS

Asesoramiento técnico, "due diligence" e informes de viabilidad técnico económica para establecimiento de plantas de fabricación de componentes fotovoltaicos.

Informes para "Bancabilidad" de componentes.

CENER PARTICIPA EN:

- **Miembro del SC82**, subcomité de ámbito nacional, de la International Electrotechnical Commission (IEC) para discusión y emisión de normativa para Fotovoltaica.
- **Miembro del WG7**, grupo de trabajo internacional de la IEC, específicamente dedicado a la tecnología de Concentración Fotovoltaica (CPV) dentro del TC82.
- **Miembro del Comité Ejecutivo de la Agencia Internacional de la Energía PVPS (Photovoltaic Power Sources)** representando a España.
- **Miembro del Comité Ejecutivo de la Plataforma Española de Fotovoltaica (FOTOPLAT).**

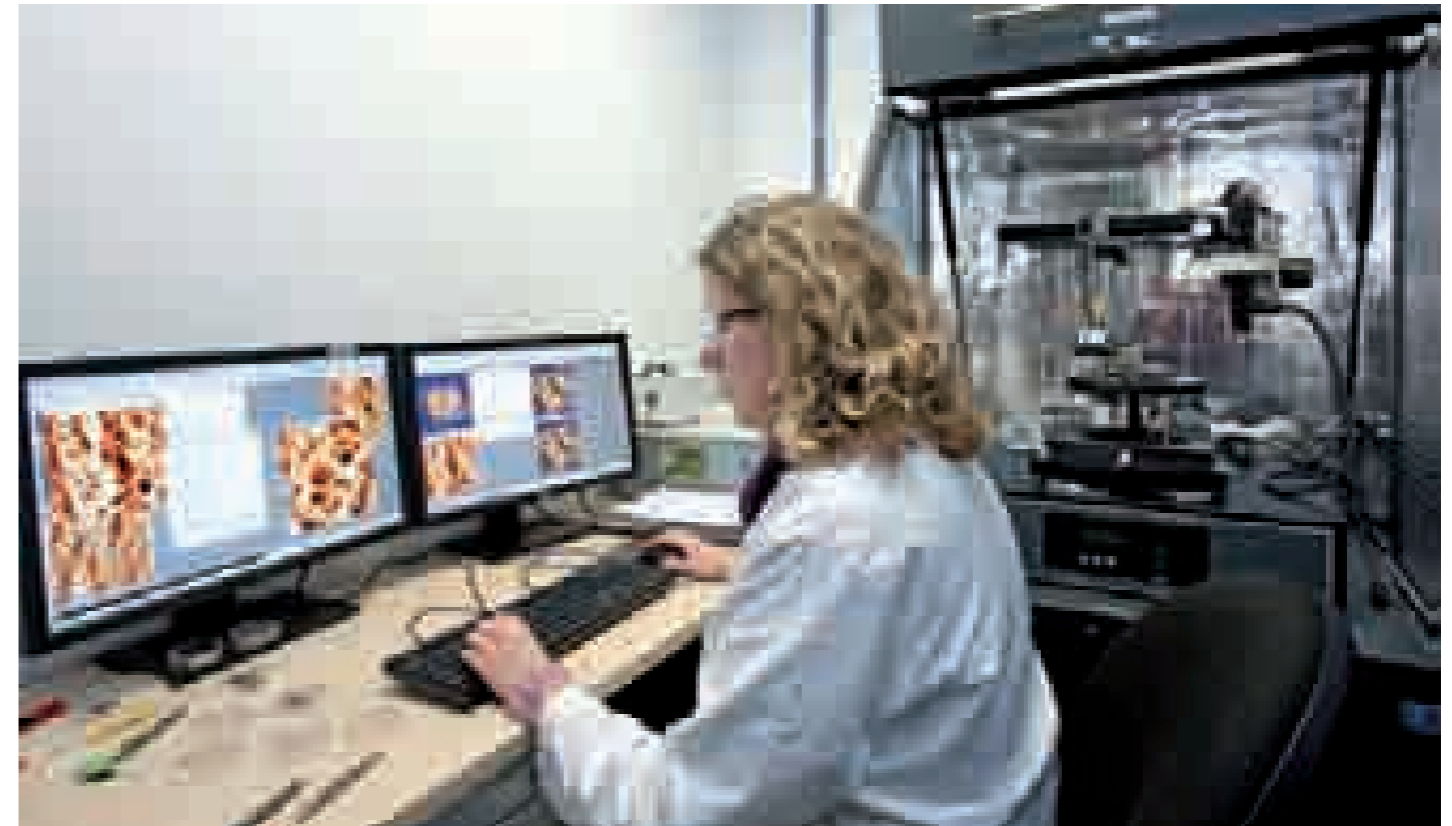
CONSULTING IN PRODUCTION ENVIRONMENTS OF CELLS AND PHOTOVOLTAIC COMPONENTS

Technical assessment, due diligence and techno-economic feasibility studies for the setting up of PV components manufacturing plants.

Component Bankability reports.

CENER IS INVOLVED IN:

- **Member of the SC82**, national sub-committee, part of the International Electrotechnical Commission for PV standards.
- **Member of WG7**, international working group of the IEC, specifically dedicated to Concentration Photovoltaic technology (CPV) within TC82.
- **Member of the Executive Committee of the International Energy Agency PVPS (Photovoltaic Power Sources)** representing Spain.
- **Member of the Executive Committee of the Spanish PV Platform (FOTOPLAT).**



▲ Microscopio de Fuerza Atómica.
Atomic Force Microscope.

2/ SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS



INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

- Asesoramiento técnico completo para la ejecución de instalaciones fotovoltaicas (año tipo solar, producción específica del emplazamiento, diseño de la instalación, seguimiento a la construcción y pruebas de puesta en marcha).
- Certificación de instalaciones fotovoltaicas según procedimientos internos basados en UNE-EN-62446 y UNE-EN-61724.
- Diagnóstico y comprobación de funcionamiento de instalaciones fotovoltaicas mediante medidas "in situ" de componentes (módulos, inversores) y la inspección y el análisis de la instalación total.
- *Due diligence* de instalaciones fotovoltaicas acabadas y en construcción.

PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS

- Full technical assistance for the implementation of photovoltaic installations (radiation type-year, site-specific production, installation project design, construction follow up and start-up testing and production monitoring).
- Certification of PV plants by following internal procedures based on IEC-62446 and IEC-61724.
- Functional testing and diagnostic of PV installations by means of "in situ" testing of components (modules and inverters), inspection and analysis of the whole PV plant.
- Due diligence of finished and under construction PV plants.

- ▼ Inspección visual de un módulo.
PV module visual inspection.



- ▼ Impacto de bolas de granizo.
Hail impact test.



- ▼ Laboratorio acreditado por IEC y ENAC para probar todas las tecnologías de módulo fotovoltaico del mercado.
Laboratory accredited by IEC and ENAC to test any Photovoltaic module technology on the market.



ENSAYO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Laboratorio acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), y reconocido por la International Electrotechnical Commission (IEC) para ensayar módulos fotovoltaicos según las siguientes normas:

- IEC-61215 para módulos de silicio cristalino.
- IEC-61646 para módulos de lámina delgada.
- IEC-61730 para Seguridad Eléctrica de Módulos Fotovoltaicos.
- IEC-62108 para módulos con Concentración Fotovoltaica (CPV).

Laboratorio de Pruebas (TL) dentro del esquema CBTL (Certification Body Test Laboratory) de la IECEE, actuando AENOR como Certification Body.

CENER trabaja en colaboración con Underwriters Laboratories (UL) para pruebas de acuerdo a la normativa IEC y dentro del esquema de Data Acceptance Procedure para las pruebas de normativas UL.

OTRAS ACTIVIDADES RELACIONADAS

- Comprobación estadística de potencia de módulos fotovoltaicos (según IEC-60904-1).
- Medida de degradación en el tiempo de la potencia de módulos fotovoltaicos (simulador flash o "in situ" según IEC-60904-1).
- Desarrollo y prueba de prototipos para integración arquitectónica de fotovoltaica.
- Validación y medida de células de referencia como sensores de irradiancia para plantas fotovoltaicas (basados en IEC-60904-4).
- Análisis de problemas de funcionamiento y defectos en módulos fotovoltaicos mediante diversas técnicas.
- Electroluminiscencia.
- Termografía por lock-in.
- Ensayos de envejecimiento acelerado específicos.

LABORATORIO DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS

El laboratorio para ensayo de Inversores fotovoltaicos está acreditado por ENAC para realizar las pruebas a Sistemas de Conversión Fotovoltaicos, tal y como quedan definidos en el Anexo III (Instalaciones Fotovoltaicas) del Procedimiento de Verificación, Validación y Certificación de los Requisitos del P.O.12.3 sobre la Respuesta de las Instalaciones Eólicas y Fotovoltaicas ante Huecos de Tensión (PVVC).

- Ensayo de las condiciones de funcionamiento de los inversores fotovoltaicos, y comprobación de los parámetros característicos.
- Medidas en laboratorio (hasta 30 kW) o en planta para potencias superiores.

PHOTOVOLTAIC MODULE TEST

Accredited by the Spanish National Accreditation Entity (ENAC) and also by the International Electrotechnical Commission (IEC) for testing PV modules under the following standards:

- IEC-61215 for crystalline silicon PV modules.
- IEC-61646 for thin film PV modules.
- IEC-61730 Electrical Safety Tests.
- IEC-62108 for CPV.

CENER is Testing Laboratory (TL) for PV modules within the CBTL (Certification Body Testing Laboratory) scheme of IECEE, with AENOR as Certification Body.

CENER is cooperating with Underwriters Laboratories (UL) for testing of PV modules in accordance to the IEC- standards and within the Data Acceptance Procedure scheme for testing UL Standards.

OTHER RELATED ACTIVITIES

- Statistical verification of Photovoltaic modules power (as of IEC-60904-1).
- Testing of Photovoltaic modules power degradation (flash simulator or "in situ" as per IEC-60904-1).
- Development and testing of prototypes for BIPV.
- Testing and verification of reference cells to be used as irradiance sensors (based on IEC-60904-4).
- PV modules characterization, analysis of defects and working conditions by means of various techniques
- Electroluminescence.
- Lock-in thermography.
- Accelerating aging tests.

PHOTOVOLTAIC INVERTERS LABORATORY

The photovoltaic inverters laboratory is accredited by ENAC to perform testing on photovoltaic conversion systems as defined in Annex III (PV plants) of the Validation, Verification and Certification of requirements of P.O.12.3 on the Response by Wind and PV plant to grid voltage dips (PVVC).

- Testing of the operating conditions of PV inverters and verification of main parameters.
- Laboratory measurements (up to 30 kW) or in field for higher power rates.



▲ Acondicionamiento inducido por luz.
Light soaking.

INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El servicio de Sistemas Fotovoltaicos comprende ámbitos de conocimiento que van desde los componentes individuales (módulo, inversor, seguidor...), hasta la planta fotovoltaica para generación de electricidad construida y conectada a red. Entre sus actividades hay servicios acreditados para prueba y certificación de componentes bajo estándares internacionales, proyectos comerciales para dar soporte de ingeniería a promotores de plantas fotovoltaicas y la I+D+i propiamente dicha.

- Desarrollo de nuevas estrategias de pruebas para funcionamiento y fiabilidad de tecnologías emergentes (CPV, OPV,...)
- Integración arquitectónica de la energía solar fotovoltaica.
- Apoyo al desarrollo de nuevos prototipos desde el análisis de las condiciones de durabilidad de materiales y productos.

RESEARCH ACTIVITIES IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

The Photovoltaic Systems service comprises knowledge areas from the individual component (module, inverter, tracker) to the final PV plant for electricity production, built and connected to the grid. Its activities include accredited services for testing and certification under international standards, commercial projects to support engineering activities for PV plant promoters and pure Research and Development tasks.

- Concept development and testing schemes for emerging technologies (CPV, OPV ...).
- New concepts for Building Integration of PV technology (BIPV) (modules, system design ...).
- Support for the development of new prototypes from the analysis of the conditions of the durability of materials and products.

ALGUNOS PROYECTOS DE I+D

BITHINK (2005-2008)

- 6º Programa Marco UE.
- Industrialización de células de silicio multicristalino delgadas y bifaciales.
- Investigación en la reducción del espesor de las células FV en orden a reducir el coste final.
- CENER participó en el estudio de las propiedades mecánicas de las obleas de silicio y la caracterización de los dispositivos bifaciales obtenidos.

DEPHOTEX (2008-2011)

- 7º Programa Marco de la EU.
- Desarrollo de textiles fotovoltaicos basados en fibras novedosas.
- CENER trabajó en el desarrollo de procesos para óxido conductor transparente y caracterización de las células FV obtenidas sobre textiles.

SIGMAPLANTAS (2011-2013)

- Ministerio de Economía y Competitividad.
- Optimización de plantas de generación de energía eléctrica a partir de tecnología fotovoltaica de concentración.
- CENER trabaja en la prueba de funcionamiento de las nuevas plantas y su conexión a la red.

S-LIGHT (2011-2013)

- Ministerio de Economía y Competitividad.
- Investigación en encapsulados de bajo peso para componentes fotovoltaicos para integración arquitectónica.
- CENER participa dando soporte a los prototipos propuestos mediante el desarrollo de pruebas para los aspectos mecánicos y eléctricos del nuevo diseño.

MICROSIL (2007-2010)

- Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Diseño e industrialización de tecnologías fotovoltaicas de lámina delgada y heterounión.
- La responsabilidad de CENER fue la prueba, caracterización y estudio de los factores limitantes de la eficiencia de los dispositivos.

POLYGLASS (2010-2012)

- 7º Programa Marco EU-PYME.
- Desarrollo de un nuevo producto de tecnología fotovoltaica de concentración.
- CENER participó en la prueba y caracterización de la óptica de concentración.

SOME R&D PROJECTS

BITHINK (2005-2008)

- FP6 EU work program.
- Bifacial Thin Industrial multi-crystalline Silicon Solar Cells.
- Research on the reduction of PV cells thickness in order to lower the cost.
- CENER participated in the study of the mechanical properties of Silicon wafers and Bifacial PV devices characterization.

DEPHOTEX (2008-2011)

- FP7 EU work program.
- Development of photovoltaic textiles based on innovative fibers.
- CENER worked on TCO process development and characterization of the textile-based PV devices obtained.

SIGMAPLANTAS (2011-2013)

- Ministry of Economy and Competitiveness.
- Project devoted to CPV energy production plants optimization.
- CENER work involved the tests for the new CPV plants to be connected to the grid.

S-LIGHT (2011-2013)

- Ministry of Economy and Competitiveness.
- Research on low weight encapsulating materials for BIPV modules.
- CENER participates by providing support for the proposed prototypes by developing testing for the electrical and mechanical aspects of the new designs.

MICROSIL (2007-2010)

- Spanish Science and Innovation Ministry.
- Design and industrialization of Silicon thin film and heterojunction PV technologies.
- CENER was responsible for the testing, characterization and study of efficiency limiting factors of the samples obtained.

POLYGLASS (2010-2012)

- FP7 EU-SME.
- Development of a new technology CPV module.
- CENER participated in the characterization tests of the concentration optics.



ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

CENTRO NACIONAL
DE ENERGÍAS RENOVABLES
NATIONAL RENEWABLE
ENERGY CENTRE

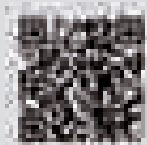
Centro tecnológico de alta
cualificación y prestigio
internacional, especializado
en la investigación aplicada
y el desarrollo y fomento
de las energías renovables.

Highly qualified technology
centre of international prestige,
specializing in applied
research and the development
and promotion of
renewable energy.

CONTACTO
CONTACT

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

info@cener.com
www.cener.com



• CENER

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



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

