



CIESOL

Centro de Investigación en Energía Solar
Instituto Mixto UAL-PSA-CIEMAT



SOLAR ENERGY RESEARCH CENTER
JOINT INSTITUTE UAL-PSA CIEMAT

INFORME ANUAL CIESOL 2013

CIESOL ANNUAL REPORT 2013

CIESOL

Centro Mixto Universidad de Almería-Centro de Investigaciones Energéticas,
Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)



SOLAR ENERGY RESEARCH CENTER

JOINT INSTITUTE UAL-CIEMAT

Título del documento:

INFORME DE ACTIVIDADES CIESOL 2013

CIESOL ANNUAL REPORT 2013



CIESOL es un centro estable de carácter público, sin personalidad jurídica propia, dotado de autonomía científica, tecnológica y administrativa para desarrollar líneas y proyectos de investigación y actividades de desarrollo, transferencia e innovación en diversos ámbitos de la ciencia y tecnología relacionados con la Energía Solar.



www.ciesol.es

Referencia: CIESOL-2013-Dirección-01

Nº de páginas: 105

Revisión: A

Fecha: 15 mayo 2014

Autor(s): Dr. Manuel Pérez García (UAL)
Dr. Antonio Romerosa Nieves (UAL)
Dra. Ana Agüera López (UAL)
Dr. José A. Sánchez Pérez (UAL)
Dr. Manuel Berenguel Soria (UAL)
Dr. Javier Batlles Garrido (UAL)
D. Octavio Malato Rodríguez (CIESOL)

Dr. Sixto Malato Rodríguez (PSA)
Dr. Christoph Richter (DLR-PSA)
Dra. Isabel Oller Alberola (PSA)
Dr. Manuel I. Maldonado Rubio (PSA)
Dr. Luís Yebra Muñoz (PSA)
Dra. Sabina Rosiek (CIESOL)
Dña. Inmaculada Pizarro Riñones (CIESOL)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO	1
2. ACTIVIDADES DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR (CIESOL)	6
2.1 ACTIVIDADES EN "QUÍMICA SOSTENIBLE: ORGANOMETÁLICA Y FOTOQUÍMICA"	6
2.1.1 Líneas estratégicas del grupo	6
2.1.2 Investigadores principales del grupo	6
2.1.3 Miembros del grupo	7
2.1.4 Sistemas polimetálicos poliméricos derivados de las fosfinas solubles en agua PTA y DMOPTA	9
2.1.5 Nueva factoría del futuro segura, inteligente y sostenible de desmilitarización y tecnologías de defensa-SIXTREMS	11
2.1.6 Transferencia y Actividades Complementarias	12
2.2 ACTIVIDADES EN "EVALUACIÓN ANALÍTICA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS Y ANÁLISIS AMBIENTAL"	13
2.2.1 Líneas estratégicas del grupo	13
2.2.2 Investigadores principales del grupo	13
2.2.3 Miembros del grupo	15
2.2.4 Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocátalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)	16
2.2.5 Caracterización y tratamiento de aguas residuales de distinto origen (lixiviados de vertedero y efluentes de la industria del corcho)	20
2.2.6 Transferencia y Actividades Complementarias	22
2.3 ACTIVIDADES EN "TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS"	23
2.3.1 Líneas estratégicas del grupo	23
2.3.2 Investigadores principales del grupo	23
2.3.3 Miembros del grupo	24
2.3.4 Sistema acoplado de depuración biológica (biorreactores de membrana) y fotocátalisis solar (foto-Fenton) para el tratamiento de aguas contaminadas con tóxicos persistentes no biodegradables (FOTOMEM)	26
2.3.5 Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocátalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)	29
2.3.6 Combinación de tecnologías intensivas para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Diseño de un proceso integrado (AQUAPYME)	33
2.3.7 Diseño de nuevos reactores para foto-Fenton solar aplicados a la regeneración de aguas. Economía, escalado y control del proceso (SULAYR)	37
2.3.8 Regeneración mediante energía solar de las aguas residuales de la guardería de la Universidad de Almería	39
2.3.9 Optimización del proceso de tratamiento de aguas ácidas mediante membranas (ósmosis inversa)	40
2.3.10 Aplicación de la energía solar térmica a la desalación	41
2.3.11 Transferencia y Actividades Complementarias	43
2.3.12 Otros	44

2.4 ACTIVIDADES EN MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO	45
2.4.1 Líneas estratégicas del grupo.	45
2.4.2 Investigadores principales del grupo	45
2.4.3 Miembros del grupo	46
2.4.4 Estrategias de control no lineal con compensación de retardo en plantas de generación de energía solar	48
2.4.5 Estrategias de control y supervisión para la gestión integrada de instalaciones en entornos energéticamente eficientes	52
2.4.6 Simulación y control de instalaciones termosolares de captadores cilindroparabólicos en aplicaciones industriales y de refrigeración	59
2.4.7 Modelado, simulación, control y optimización de fotobioreactores-MACROBIO	64
2.4.8 Transferencia y Actividades Complementarias	68
2.5 ACTIVIDADES EN EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR	70
2.5.1 Líneas estratégicas del grupo.	70
2.5.2 Investigadores principales del grupo	70
2.5.3 Miembros del grupo	71
2.5.4 Predicción a corto plazo de la nubosidad utilizando técnicas de teledetección y de tratamiento de imágenes	72
2.5.5 Optimización para la industrialización de la predicción de nubes en campos solares	75
2.5.6 Transferencia y Actividades Complementarias	77
2.6 ACTIVIDADES EN FRIO SOLAR	78
2.6.1 Líneas estratégicas del grupo.	78
2.6.2 Investigadores principales del grupo	78
2.6.3 Miembros del grupo	79
2.6.4 Frio solar	79
2.6.4 Transferencia y Actividades Complementarias	83
3. INFRAESTRUCTURAS Y CAPACIDADES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS DEL CENTRO	84
3.1 UNIDAD TÉCNICA	84
3.2 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO DE LA ENERGÍA SOLAR	87
3.3. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ENERGÍA SOLAR	90
3.4 CAPACIDADES TÉCNICAS DEL CENTRO	102
3.4.1. Capacidades del área de aprovechamiento químico de la energía solar.	102
3.4.2. Capacidades del área de aprovechamiento energético de la energía solar.	102
4. ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA.	103
5. COMITÉS Y RESPONSABLES DE ACTIVIDADES.	104
5.1 DIRECCIÓN DEL CENTRO	104
5.2 RESPONSABLES DE ACTIVIDADES	104
5.3 COMITÉ DE COORDINACIÓN	105
5.4 COMITÉ CIENTÍFICO	105

1. INTRODUCCIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO

El CIESOL es un centro mixto de investigación creado y gestionado en base un convenio firmado en abril de 2005 entre la Universidad de Almería y el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT del Ministerio de Economía y Competitividad. El centro, emplazado en área norte del Campus de la Universidad de Almería, ocupa un edificio operativo desde enero de 2006, construido gracias a la financiación de fondos FEDER de apoyo a infraestructuras científicas europeas y constituye además un contenedor-demostrador de diferentes técnicas de acondicionamiento activo y pasivo de edificios implantadas y estudiadas a lo largo del desarrollo entre los años 2006 y 2012 del Proyecto Nacional de Carácter Singular y Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar ARFRISOL.

En el centro se realizan actividades de investigación y de transferencia tecnológica relacionadas con las aplicaciones de la energía solar en las siguientes áreas: la química sostenible, la regeneración de aguas, el análisis ambiental, el modelado y el control automático de instalaciones solares, la domótica orientada a la eficiencia energética, el frío solar y la evaluación de recursos solares.

Su estructura funcional está constituida por un comité de coordinación, órgano máximo de decisión y gestión, un equipo de dirección, al que pertenecen dos investigadores, uno por cada organismo matriz y un conjunto de 5 unidades funcionales que agrupan a los investigadores de las áreas anteriores a efectos de gestión de necesidades y de promoción de proyectos y actividades. De forma suplementaria, el centro cuenta con comité evaluador externo que anualmente valora y supervisa sus actividades y su producción científica.

A modo de resumen, durante 2013 el número de investigadores vinculados al centro que ha participado en los proyectos y contratos adscritos al mismo ha sido 54, 37 doctores y 17 investigadores en formación y técnicos. El personal ubicado de forma permanente en sus laboratorios y despachos a lo largo de esta anualidad han sido 8 doctores, 17 investigadores en formación y 3 técnicos de apoyo. Dos de estos puestos técnicos han sido co-financiados a lo largo de 2013 gracias por el Subprograma Personal Técnico de Apoyo (PTA) del Plan Nacional de Investigación y tienen a su cargo la supervisión y mantenimiento de los equipos y laboratorios químicos, por un lado, y de las instalaciones termo-solares y energéticas por el otro. Este tercer puesto técnico del centro realiza labores administrativas y de representación.

Los proyectos de investigación en desarrollo han sido en total 18, 13 proyectos de convocatorias oficiales (Plan Nacional de Investigación y Programa Andaluz de Incentivos a los Agentes del Conocimiento). Los contratos con empresas y organismos han sido 5.

Las actividades de investigación han permitido también la lectura de 4 tesis doctorales y la participación de investigadores del CIESOL en 34 congresos y reuniones científicas, de ellas 27 internacionales.

La producción científica vinculada a las investigaciones del centro ha sido de 2 capítulos de libro, 1 patente, 65 artículos en revistas SCI, de los cuales más del 60% de ellos están ubicadas en revistas de primer cuartil en sus respectivas áreas, 41 contribuciones a congresos internacionales y 13 contribuciones a congresos nacionales.

El programa de difusión y transferencia tecnológica ha cubierto un total de 44 actividades específicas incluyendo soporte en programas formativos externos y recepción de visitas institucionales y de empresas. El centro ha acogido 2 dos estudiantes de la Universidad de Wroclaw (Polonia) en el marco del programa Leonardo da Vinci, financiado por la Comisión Europea, en su modalidad de formación transnacional. Las actividades se han llevado a cabo en la Unidad de Modelado y Control Automático y de forma más concreta en las áreas de control orientado a la eficiencia energética de los edificios y de generación de energía solar fotovoltaica para integración en redes.

Al inicio del curso 2013-2014 el CIESOL se ha incorporado al programa ICARO del Servicio de Empleo de la Universidad de Almería. Este programa gestiona las prácticas curriculares de los diferentes programas académicos de las titulaciones de la universidad y ha permitido a 10 alumnos de último curso de ingeniería y de ciencias realizar dichas prácticas en las instalaciones del centro. Las prácticas han sido supervisadas por investigadores, actuando el CIESOL en este caso como empresa demandante y ofreciendo a los alumnos la obtención de experiencia en actividades de soporte a proyectos de investigación y tecnológicos.

Finalmente, como hitos a destacar en este resumen se incluyen los siguientes:

- **Incorporación del centro al proyecto SFERA II**



A lo largo de 2013, el CIESOL se incorporado a la segunda fase del proyecto europeo Solar Facilities for the European Research Area (SFERA). Este proyecto, coordinado por la investigadora de la Plataforma Solar de Almería Isabel Oller pertenece al programa de Infraestructuras Científicas del 7º Programa Marco de la Unión Europea. El objetivo del proyecto es poner a disposición de los centros y universidades europeos y la industria un conjunto de instalaciones de investigación líderes en el ámbito de las aplicaciones de la energía solar de concentración, la producción de hidrógeno, los combustibles solares, el tratamiento de aguas y los materiales avanzados.

El proyecto contempla 3 tipos de actuaciones diferenciadas. En primer lugar el acceso transnacional a instalaciones científicas, facilitando los desplazamientos y las estancias de equipos europeos para la realización de campañas de medida y actividades de investigación coordinadas en 5 de las 15 instalaciones participantes en el proyecto. El acceso se consigue a través de una convocatoria pública y después de un proceso selectivo que tiene lugar en el mes de abril de cada

año entre aspirantes de toda Europa. Estos aspirantes deben presentar una propuesta de actividades y un nivel de excelencia científica que permitan abrir opciones futuras de colaboración entre los equipos desplazados y los laboratorios de referencia que los acogen.

En segundo lugar, actividades de networking, destacando entre ellas la organización de cursos especializados orientados a jóvenes investigadores. El objetivo en este caso es promover la creación de recursos formativos comunes y la regularización y unificación de capacidades docentes de los centros participantes. El networking incluye también la creación de una cultura de cooperación y comunicación hacia la sociedad y la industria. Una de las actividades más destacadas en este ámbito es la celebración de los denominados Coloquios Doctorales, en colaboración con SOLLAB (Alliance of European Laboratories for Research and Technologies on Concentrating Solar Systems) en los cuales, estudiantes de universidades y centros relacionado con el proyecto tienen la oportunidad de adiestrarse en la defensa de sus trabajos. Estas actividades vienen celebrándose de forma ininterrumpida desde 2006 habiendo tenido lugar en lugares tan significativos para la industria y la investigación solares como Odeillo, Friburgo o Colonia. Almería ha acogido las ediciones de 2008 y 2012 de los coloquios doctorales mencionados anteriormente.

Por último, la tercera actuación contemplada en el proyecto es la coordinación entre los propios laboratorios participantes con el objetivo de unificar y mejorar la calidad y servicios de los mismos, así como alcanzar carteras de servicios avanzados con la mayor visibilidad y extensión posible.

Tras la consolidación del proyecto SFERA en su primera fase, el CIESOL se ha incorporado a través de su colaboración con la Plataforma Solar de Almería a la segunda fase del proyecto, iniciada a principios de este 2014. A lo largo de los próximos 4 años, y junto a la propia Plataforma Solar de Almería, el PROMES francés, el Paul Scherrer Institute suizo y la Agencia Nacional Italiana para Nuevas Tecnologías, Energía y Medioambiente (ENEA) acogerá a equipos europeos que trabajarán en sus líneas de investigación: regeneración de agua, química sostenible, modelado y control de plantas solares e instalaciones energéticas en edificios, frío solar, micro redes energéticas y recursos solares.

- **Congreso EAAOP3**



El congreso internacional "3rd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes" EAAOP3, celebrado del 27 al 30 de octubre de 2013 en Almería ha contado con la participación de 250 investigadores de más de 30 países que han presentado 300 ponencias, distribuidas entre 60 conferencias y 240 carteles científicos. Este congreso contó con una participación activa y relevante de las unidades de "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas" y de "Tecnologías avanzadas para la regeneración de aguas"

INTRODUCTION AND EXECUTIVE SUMMARY

The Solar Energy Research Center (CIESOL) is a joint research establishment, founded and managed according to an agreement signed in April 2005 between the University of Almería and the Centre for Energy, Environment and Technology (CIEMAT) at the Ministry of Economy and Competitiveness. The center is located on the northern side of the University of Almería campus, in a single-store building, and has been operating since January 2006. It was built with the support of the PSE-ARFRISOL project (The Singular Strategic Project - Bioclimatic Architecture and Solar Cooling), PS-120000-2005-1, financed by the Spanish Ministry of Innovation and Science and cofinanced by the FEDER fund for 7 years (2005-2012). CIESOL was built using bioclimatic standards and its design is aimed at efficient energy use.

CIESOL engages in research and technology transfer activities in the field of solar energy applications concerning: organometallic photochemistry, water treatment, environmental chemistry, modeling and automatic control of solar systems, home automation for energy efficiency, as well as solar cooling and solar resources assessment. CIESOL's structure consists of a coordinating committee with two researchers, one from each agreement institution and a set of 5 units that bring together researchers in specific thematic areas. Additionally, each year, an external scientific committee assesses the activities and production of the various functional units. In terms of funding, CIESOL has specific allocations related to its own projects and contracts with a fixed annual contribution covering current outgoings from both institutions.

In 2013, 55 researchers (32 doctors and 23 non-doctors) conducted their research in collaboration with CIESOL on different research projects and contracts. It is worth mentioning that 28 out of the 55 researchers were working full-time in the CIESOL building using its present infrastructure, laboratories and offices. CIESOL also employs three technicians. Two of these technicians conduct their work with the support of the Technical Support Staff Subprogram (PTA) of the National Research Plan and are responsible for the supervision and maintenance of chemical laboratory equipment and current energy infrastructure, respectively.

During 2013, 18 different research projects were carried out - of which 13 were officially requested (National Research Plan and Program Incentives for Andalusian Knowledge Agents). It is worth emphasizing the total of 5 contracts realised with companies and agencies, highlighting the corresponding investment and transfer of knowledge to the private sector and society in general. Research activities carried out during 2012 allowed 4 different dissertations to be defended and participation in 34 conferences and scientific meetings, of which 27 were international. The principal research results from CIESOL in 2013 were published, or are to be published, in international science journals. There were a total of 65 articles in SCI journals. With the main goal of transferring its knowledge to the private sector and society, CIESOL organized a total of 44 specific activities including external training programs and hosting institutional and corporate visits.

The center has hosted two students from the University of Wroclaw (Poland) under the Leonardo da Vinci program, funded by the European Commission, in its mode of transnational training. Activities are conducted in Unit Modeling and Automatic Control and more specifically in the areas of control oriented to the energy efficiency of buildings and solar photovoltaic power generation for networking .

At the start of the 2013-2014 course CIESOL Icarus has joined the program of the Employment Service of the University of Almería . This program manages the curricular practices of the various academic programs of the university degrees and has allowed 10 senior students of engineering and science make such practices center facilities . The practices have been supervised by researchers, the acting in this case as CIESOL applicant company and offering students experience gains in support activities and technological research projects .

The principal aims that should be highlighted are as follows:

Integration into SFERA 2 project:

This EU-funded research project - SFERA - aims to boost scientific collaboration among the leading European research institutions in solar concentrating systems, offering European research and industry access to the best research and test infrastructures and creating a virtual European laboratory. The project incorporates the following activities:

- Transnational Access: Researchers will have access to five state-of-the-art high-flux solar research facilities, unique in Europe and in the world. Access to these facilities will help strengthen the European Research Area by opening installations to European and partner countries' scientists, thereby enhancing cooperation.
- Networking: These include the organisation of training courses and schools' to create a common training framework, providing regularized, unified training of young researchers in the capabilities and operation of concentrating solar facilities. Communication activities will seek to both strengthen relationships within the consortium, creating a culture of cooperation, and to communication to society in general, academia and especially industry what SFERA is and what services are offered.
- The Joint Research Activities aim to improve the quality and service of the existing infrastructure, extend their services and jointly achieve a common level of high scientific quality.

Organization of EAAOP3 Congress

The international conference "3rd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes" EAAOP3, held from 27 to 30 October 2013 in Almería has had the participation of 250 researchers from over 30 countries presenting 300 papers distributed among 240 oral presentations and 60 posters. This activity has been meaningfully supported by the CIESOL units "Environmental Analysis and Water Treatment" and "Advanced Technologies for water regeneration"

2. ACTIVIDADES DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR (CIESOL)

2.1 ACTIVIDADES EN “QUÍMICA SOSTENIBLE: ORGANOMETÁLICA Y FOTOQUÍMICA”

Esta unidad se compone de 8 miembros (dos profesores universitarios, tres investigadores, un contrato postdoctoral y dos predoctorales) y está constituida por personal del Grupo de Inv. “Química de Coordinación Organometálica y Fotoquímica” (FQM-317) perteneciente al departamento de Química y Física de la Universidad de Almería, y por un investigador del Centro Aeroespacial de Alemania - Plataforma Solar de Almería (DLR-PSA - CIEMAT). El grupo mantiene fluidos intercambios con otros grupos PAI como aquellos miembros del CIESOL y de otras universidades andaluzas.

La unidad no ha dejado de crecer tanto en proyectos (autonómicos, nacionales e internacionales) como en producción científica (> 150 artículos en revistas químicas de impacto internacionales). Sus intereses iniciales, la síntesis de catalizadores metálicos para la mediación de reacciones fotoquímicas en agua, se ha ido extendiendo a otras áreas como la foto-generación de hidrógeno o la transformación de moléculas pequeñas mediante radiación solar.

2.1.1 Líneas estratégicas del grupo

- Desarrollo de nuevos complejos de rutenio homo y heteronucleares solubles en agua y con actividad fotocatalíticas en procesos de síntesis de moléculas de alto valor añadido.
- Transformación de fósforo blanco en rojo, utilizando en energía solar como fuente de energía.

Main research lines

- *New water soluble homo- and hetero-metal-polymers with photocatalytic activity in the synthesis of high impact molecules.*
- *White phosphorus transformation mediated by visible-light irradiation.*

2.1.2 Investigadores principales del grupo

Antonio Manuel Romerosa Nievas

Antonio Romerosa nació en Granada (España) en 1964. Se graduó en 1987 (Universidad de Granada) y recibió su PhD (Universidad Autónoma de Barcelona) en enero de 1992. En el mismo año realizó una estancia postdoctoral en el antiguo CNR ISSECC, ahora ICCOM CNR, (Florencia, Italia), antes de convertirse en profesor titular (1997) y catedrático (2009) del área de química inorgánica de la Universidad de Almería (España). Sus principales líneas de investigación se dirigen a la catálisis homogénea y química organometálica en el agua, la química del fósforo, la foto-Química Inorgánica, Química Bioinorgánica y piedras naturales. Es autor de más de 110 artículos internacionales, 11 patentes españolas e internacionales y más de 200 presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Ha sido responsable de más de 18 proyectos de investigación nacionales, autonómicos y europeos, así como dirigido 13 tesis doctorales, encontrándose dirigiendo 5 más. Es responsable del grupo de la Junta de Andalucía FQM-317.

Antonio Romerosa Nievas

Antonio Romerosa was born in Granada (Spain) in 1964. He graduated in 1987 (University of Granada) and received his PhD (Universitat Autònoma de Barcelona) in January 1992. In the same year he undertook a

postdoctoral research at the former ISSECC CNR, now ICCOM CNR, (Florence, Italy), before becoming Lecture Professor (1997) and finally Full Professor (2009) at the University of Almeria (Spain). His research interests range over homogeneous catalysis and organometallic chemistry in water, phosphorus chemistry, photo-inorganic-chemistry, bioinorganic chemistry and natural stones. He has authored of more than 110 international refereed papers, 11 Spanish and international patents and made more than 200 presentations at national and international meetings. He has been responsible for more than 15 national research, regional and European projects, was supervisor of 13 PhD and is supervising 5 more. He is responsible of the Junta de Andalucía research team FQM-317.

Christoph Richter

Doctor en Química Física por la Universidad de Colonia en 1993. En 1994 comienza a trabajar en el Departamento que DLR (Centro Aeroespacial de Alemania) tiene en la Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT), en España; el mayor centro de pruebas para investigación y desarrollo en tecnologías de concentración solar a altas temperaturas. Inicialmente trabaja como director de proyectos en el área de química solar, en el desarrollo de proyectos sobre las aplicaciones fotoquímicas de la energía solar en la depuración de aguas y en la síntesis química fina. Actualmente trabaja en diferentes aspectos del funcionamiento de las plantas solares térmicas, incluyendo el almacenamiento de calor, refrigeración e impacto ambiental, y es responsable del departamento de administración e infraestructuras de DLR en Almería. Desde marzo de 2008 es el Secretario General de Solar PACES.

Christoph Richter

PhD in Physical Chemistry from the University of Cologne in 1993. In 1994 he began to work in the Department DLR (German Aerospace Center) is at the Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT) in Spain, the largest test center for research and development in solar concentrating technologies at high temperatures. Initially working as a project manager in the area of solar chemical in development projects photochemical applications of solar energy in water treatment and fine chemical synthesis. Currently working on different aspects of the operation of solar thermal plants, including heat storage, cooling and environmental impact, and is responsible for administration and infrastructure department of DLR in Almeria. Since March 2008, is the Secretary General of Solar PACES.

2.1.3 Miembros del grupo

- Antonio Manuel Romerosa Nieves (UAL)
- Christoph Richter (DLR-PSA-CIEMAT)



- Manuel Serrano Ruiz (UAL)



- Franco Scalambra (UAL)



- Gaspar Francisco Segovia (UAL)



- Sonia Mañas Carpio (UAL)



- Cristóbal Saraiba Bello (UAL)



- Lourdes Sánchez (UAL)



2.1.4 Sistemas polimetálicos poliméricos derivados de las fosfinas solubles en agua PTA y DMOPTA

Participantes:

- Grupo de Inv. "Química de Coordinación Organometálica y Fotoquímica". Universidad de Almería (FQM-317)

Contactos:

A. Romerosa Nievas (romerosa@ual.es)
C. Richter (christoph.richter@dlr.de)
<http://www.ual.es/GruposInv/FQM-317/>

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (CTQ-2010-20952)

Duración prevista:

Enero 2011- Junio 2014

Situación:

Prorrogado

Resumen

Con el proyecto se pretende el desarrollo de toda una familia de complejos polimetálicos poliméricos con aminofosfinas solubles en agua. Los polimetalo-polímeros se caracterizarán por disponer átomos metálicos (Ru, Ag, Au, Pt, Pd) en posiciones estructurales específicas. Los centros metálicos se enlazarán a través de los ligandos PTA y dmoPTA (PTA = 1,3,5-triaza-7-fosfaadamantano; dmoPTA= 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo [3.3.1]nonane) que favorecerán además que los complejos poliméricos fueran solubles en agua o acuo-compatibles. La conjunción de propiedades, disponer de diversos átomos metálicos distribuidos en una cadena polimérica y ser acuo-soluble, o acuo-compatible, hacen de éstos compuestos, productos químicos altamente novedosos tanto por su estructura como por sus posibles propiedades químicas y físicas. En definitiva, es de esperar que el avance en el conocimiento de la síntesis, la caracterización, la reactividad química y las propiedades físicas de estos complejos aporte la información necesaria para facilitar el desarrollo de los sistemas polimetalo-polímeros y su posible aplicación tecnológica.

Resultados durante 2013:

Durante el 2013 se ha continuado avanzando en la síntesis de nuevos sistemas hetero-polimetálicos, que están presentando propiedades novedosas. Además se han estudiado los complejos que se usan para su síntesis, encontrando que muchos de ellos ya de por sí son muy interesantes por sus propiedades químicas y físicas.

Abstract:

The present project is focused to the synthesis and characterization of new poly-metal-polymer complexes containing water soluble amino-phosphines. In the polymeric system the selected metals Ru, Ag, Au, Pt, Pd are located in precise positions and coordinated to the water soluble ligands PTA and dmoPTA (PTA = 1,3,5-triaza-7-fosfaadamantane; dmoPTA= 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane) which favour the solubility in water of the polymeric complexes obtained. These complexes are characterized by a new dual polymer and poly-metallic features together with water solubility which likely provide them new and interesting chemical and physical properties unlike to those of the known organometallic complexes. New knowledge on the synthetic procedures and properties of the proposed poly-metal-polymeric

complexes could provide new and important information to understand their properties and their possible innovative technological applications.

Publicaciones:

Revistas:

- Serrano-Ruiz, M., Lorenzo-Luis, P., Romerosa, A., and Mena-Cruz, A. **Catalytic isomerization of allylic alcohols in water by [RuClCp(PTA)₂], [RuClCp(HPTA)₂]Cl₂·2H₂O, [RuCp(DMSO-κS)(PTA)₂]Cl, [RuCp(DMSO-κS)(PTA)₂](OSO₂CF₃) and [RuCp(DMSO-κS)(HPTA)₂]Cl₃·2H₂O.** Dalton Transactions 2013, 42, 7622-7630. DOI: 10.1039/c3dt32998d
- Serrano-Ruiz, M., Aguilera-Sáez, L.M., Lorenzo-Luis, P., Padrón, J.M. and Romerosa, A. **Synthesis and antiproliferative activity of the heterobimetallic complexes [RuClCp(PPh₃)-μ-dmoPTA-1κP:2κ2N,N'-MCl₂] (M = Co, Ni, Zn; dmoPTA = 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane).** Dalton Transactions 2013, 42, 11212-11219. DOI: 10.1039/c3dt50829c
- Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. and García-Maroto, F. **Synthesis of Na₂(trans-[PdCl₂(mTPPMS-κP)₂]): interaction against DNA and reactivity with 8-thiotheophylline (mTPPMS = Ph₂P-2-C₆H₄SO₃⁻).** European Journal of Inorganic Chemistry 2013, 24, 4251-4257. DOI: 10.1002/ejic.201300293
- Serrano-Ruiz, M., Lidrissi, Ch., Mañas, S., Peruzzini, M., Romerosa, A. **Synthesis, reactivity and catalytic properties of the allenylidene [Ru(C=C=CPh₂)Cp(PTA)(PPh₃)](CF₃SO₃) (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane).** Journal of Organometallic Chemistry 2014, 751, 654-661. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2013.08.040
- Lledo-Fernandez, C., Pollard, P. and Romerosa, A. **The date rape drug-flunitrazepam-electroanalytical sensing using electrogenerated chemiluminescence.** International Journal of Electrochemical Science 2014, 9, 227-237.

Capítulos de Libro:

- Serrano-Ruiz, M., Scalambra, F., Romerosa, A. **Organometallic polymers. Advances in organometallic chemistry and catalysis.** The Silver/Gold Jubilee International Conference on Organometallic Chemistry Celebratory Book. Wiley 2014. (Cap 29), 381-407. ISBN: 978-1-118-51014-8

Congresos:

- Scalambra, F., Serrano Ruiz, M., Romerosa, A. **Fluorescent water soluble ruthenium organometallic complexes containing PTA-κP,N ligand.** 10th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Regensburg, Germany, Marzo 2013.
- Scalambra, F., Serrano Ruiz, M., Romerosa, A. **Synthesis and chemical transformation of co-polymeric complexes with the dimeric moiety {(PTA)₂CpRu-M-CN-RuCp(PTA)₂}(3,5,7-Triaza-Phosphaadamantane).** 10th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Regensburg, Germany, Marzo 2013.
- Serrano-Ruiz, M., Romerosa A., Thangarasu P., Hernández, G., Hofeld, H., Cruz, J. **Ruthenium(II) complexes containing benzimidazolyc tripodal ligands: theoretical, redox and photochemical studies.** 10th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Regensburg, Germany, Marzo 2013.
- Romerosa; A., Telling, M., Scalambra; F., Serrano Ruiz, M. **Study of the interaction of muons with a water soluble heterometal-backbone organometallic polymer.** 11th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Sofia, Bulgaria, Marzo 2014.
- Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A., Imberti, S. and Bernasconi, L. **The role of water in homogeneous catalytic processes mediated by water soluble ruthenium complexes.** 11th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Sofia, Bulgaria, Marzo 2014.

2.1.5 Nueva factoría del futuro segura, inteligente y sostenible de desmilitarización y tecnologías de defensa-SIXTREMS

Participantes:

- Grupo de Inv. "Química de Coordinación, Organometálica y Fotoquímica". Universidad de Almería (FQM-317)

Contactos:

A. Romerosa Nievas (romerosa@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. FEDER 2013 (ITC-20132016)

Duración prevista:

Enero 2013 - Julio 2015

Situación:

En curso

Resumen

El proyecto se dirige a encontrar un procedimiento que permita transformar fósforo blanco proveniente de la desmilitarización de armas, en fósforo rojo, más estable y seguro. Para ello se pretende utilizar radiación solar como fuente de energía.

Resultados durante 2013:

A partir de septiembre de 2013 se ha iniciado el proyecto con la empresa EXPAL dirigido a la transformación del fósforo blanco en rojo. Los primeros resultados obtenidos son muy prometedores ya que se ha conseguido dicha transformación a temperatura ambiente y usando como fuente energética la luz visible. Actualmente se está trabajando en optimizar el proceso y conocer aquellos factores más importantes que influyen en el mismo.

Abstract:

The project is targeted to obtain a procedure to transform white phosphorus, coming from weapons demilitarization, into red phosphorus, more stable and secure. Solar radiation will be used as the energy source to promote the transformation.

Publicaciones:

Revistas:

- Serrano Ruiz, M., Romerosa, A., Lorenzo-Luis, P. **Elemental phosphorus and electromagnetic radiation**. European Journal of Inorg. Chem. 2014, 1587-1598. "Phosphorus and derivatives" Special Volume. Dalton Transactions 2013, 42, 11212-11219. DOI: 10.1002/ejic.201301361
- http://cms.ual.es/UAL/universidad/organosgobierno/gabcomunicacion/noticias/19MAR2014_FOSFOROBLANCO

2.1.6 Transferencia y Actividades Complementarias

Durante el año 2013 ha estado organizando el congreso bianual del grupo especializado de Química Inorgánica y Estado Sólido (QIES14) que se celebrará en Almería del 15 al 18 de junio de 2014.

(<http://www.ual.es/Congresos/QIES14/organizacion.html>)



QIES 2014 Almería

Almería
15 - 18 de junio de 2014

Real Sociedad Española de Química

16ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica

10ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido

2.2 ACTIVIDADES EN “EVALUACIÓN ANALÍTICA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS Y ANÁLISIS AMBIENTAL”

La Unidad Funcional de evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental está constituida por investigadores del departamento de Química y Física de la Universidad de Almería y de la unidad de Tratamientos Solares de Agua de la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT). La colaboración entre ambos centros se remonta a 1998, año en el que se publica el primer trabajo conjunto. Desde entonces se ha colaborado activamente en proyectos nacionales e internacionales y se cuenta con más de 40 publicaciones conjuntas. Actualmente, miembros de ambos centros forman parte del grupo PAI de investigación “Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas (FQM-374)”.

2.2.1 Líneas estratégicas del grupo

La actividad del grupo está enfocada al desarrollo, optimización y evaluación analítica de procesos avanzados de tratamiento de aguas aplicados a efluentes complejos con vistas a su regeneración y en su caso posible reutilización. Las líneas estratégicas de actuación son:

1. Desarrollo de métodos analíticos avanzados para la caracterización de efluentes complejos y su aplicación al seguimiento de microcontaminantes orgánicos durante los tratamientos a fin de garantizar su eliminación.
2. Identificación de productos de transformación generados durante los tratamientos y establecimiento de rutas de degradación.
3. Estudio de la influencia de los tratamientos en la calidad de las aguas regeneradas y evaluación del impacto derivado de su reuso en actividades agrícolas.

Main research lines

The activity of the group is focused on the development, optimization and analytical assessment of advanced wastewater treatment processes applied to complex effluents in order to get their regeneration and enable their possible reuse. The strategic lines of action include:

- 1. Development of advanced analytical methods for characterizing complex effluents and its application to monitoring of organic micropollutants during wastewater treatment to ensure its elimination.*
- 2. Identification of transformation products generated during wastewater treatments and establishment of routes of degradation.*
- 3. Study of the influence of treatments on the quality of reclaimed water and evaluating the impact of their reuse in agriculture.*

2.2.2 Investigadores principales del grupo

Ana Agüera López

Es catedrática del Departamento de Química y Física de la Universidad de Almería. Licenciada en Ciencias Químicas (1987) y Dra. en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada (1995). Investigadora responsable del grupo Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas (FQM-374) del Plan Andaluz de Investigación. Cuenta con 25 años de experiencia en el desarrollo y validación de métodos analíticos, basados en el empleo de técnicas cromatográficas acopladas a espectrometría de masas, para el análisis de contaminantes orgánicos en alimentos y matrices ambientales. Ha participado en 20 proyectos

de investigación competitivos nacionales e internacionales, en 6 de ellos como investigadora principal. Es co-autora de 2 patentes y 107 publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas (H index=37). Ha co-dirigido 7 tesis doctorales y participado en más de 150 comunicaciones a congresos. Es autora de 3 libros y 11 capítulos de libro y ha participado en la organización de 7 congresos de carácter internacional.

Ana Agüera López

Full professor at the University of Almeria. Degree in Chemistry (1987). PhD in Chemistry (1995). She has 25 years of experience working in the development and validation of analytical method based on chromatographic technique coupled to mass spectrometry for the analysis of organic contaminants in food and environmental matrices. She has participated in 20 national and international competitive R&D Projects. She is co-author of 2 patents and 107 scientific publications in indexed international journals (H index = 37). She has also co-authored more than 150 conference papers, 3 books and 11 book chapters, and has participated in the organization of 7 international conferences. She has supervised 7 doctoral theses.

Isabel Oller Alberola

Su actividad científica se ha centrado fundamentalmente en el campo de la descontaminación y reutilización de aguas residuales industriales y urbanas mediante procesos avanzados de oxidación y su combinación con sistemas físico-químicos de pre-tratamiento, así como con tratamientos biológicos avanzados. La Dr. Isabel Oller ha desarrollado esta actividad a través de su participación en diversos Proyectos de I+D nacionales y europeos (5th, 6th & 7th EU FP). Dentro de su producción científica cabe destacar que es autora de 1 libro en Editorial Nacional y co-autora de 7 capítulos de libros de Editorial Internacional. Además es co-autora de 63 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto y de 270 contribuciones a Congresos y Simposios internacionales hasta la fecha (Diciembre 2013). Además, ha participado como profesora en cursos nacionales e internacionales relacionados con el Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales. h-index (Diciembre 2013): 21

Isabel Oller Alberola

Dr. Isabel Oller scientific career is focused in the industrial and urban wastewater treatment and reuse by using advanced oxidation processes (with and without solar energy) and their combination with physico-chemical pre-treatment systems and advanced biological treatments. She has developed this activity under her participation in several I+D national and European Projects (5th, 6th & 7th EU Framework programs). Her scientific production it is worthy to mention she is author of 1 National Editorial book and co-author of 6 International Editorial books chapters. Furthermore, she is co-author of 63 publications in indexed and 270 contributions to different International Congress and Symposiums (until December 2013). She has also participated as teacher in some national and international curses and master related with Wastewaters Advanced Treatment. H-index (December 2013): 21.

2.2.3 Miembros del grupo

- Ana Agüera López (UAL)



- Isabel Oller Alberola (PSA-CIEMAT)



- Sixto Malato Rodríguez (PSA-CIEMAT)



- Inmaculada Polo López (PSA-CIEMAT)



- Sara Miralles Cuevas (PSA-CIEMAT)



- Estefanía De Torres Socías (PSA-CIEMAT)



- María Castro Alférez (PSA-CIEMAT)



- Lucía del Pilar Prieto Rodríguez (PSA-CIEMAT)



- Ricardo Sánchez (PSA-CIEMAT)



- Laura Ponce Robles (UAL)



2.2.4 Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocátalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)

Participantes:

- Grupo de Inv. "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas". Universidad de Almería (FQM-374)
- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar". PSA- CIEMAT

Contactos:

A. Agüera (aaguera@ual.es)
M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es)
J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010 (CTQ2010-20740-C03-03)

Duración prevista:

Enero 2011 - Diciembre 2013

Situación:

Finalizado

Resumen

El objetivo general del proyecto consiste en estudiar nuevas estrategias tecnológicas sostenibles basadas en el uso de la energía solar, para la regeneración de aguas residuales con el fin de su reutilización para usos agrícolas, industriales o recreativos (según RD 1620/2007). En este sentido, debe prestarse atención tanto a la desinfección de las aguas depuradas procedentes de procesos secundarios (biológicos, fundamentalmente fangos activos), como a la eliminación de contaminantes persistentes no degradados en los procesos convencionales y que, por tanto, no salen del ciclo de reutilización del agua y se acumulan en el medio ambiente.

Objetivos:

1. Caracterización química de las aguas residuales y depuradas de la empresa Cítricos del Andarax S. A. mediante LC-MS y GC-MS adaptadas a la diferente composición de las mismas. Detección de compuestos indicadores de contaminación que faciliten el control de rutina.
2. Evaluación de la eficiencia del proceso biológico, en términos de capacidad para la eliminación de contaminantes orgánicos e identificación de compuestos persistentes.
3. Evaluación de la eficacia de los diferentes tratamientos desarrollados en los subproyectos 1 y 2 para eliminar contaminantes presentes en aguas.
4. Identificación de posibles productos de degradación generados durante los tratamientos.

Resultados durante 2013:

Dado que 2013 ha sido el último año del proyecto, se incluyen en este informe, a modo de resumen, todas las actividades y logros obtenidos a lo largo del mismo.

1. Se ha desarrollado y validado una estrategia de análisis de amplio espectro para la caracterización química de las aguas residuales de la EPO colaboradora del proyecto (Cítricos del Andarax, S.A.), que combina extracción en fase sólida (compuestos de polaridad media-alta) y extracción líquido-líquido (compuestos de polaridad media-baja) con análisis de compuestos seleccionados (LC-

QqQ-MS/MS, LC-QTRAP-MS/MS, GC-Q(SIM)MS) y métodos de screening para la identificación de compuestos no objetivo (LC-QTOF-MS, LC-Q(SCAN)-MS).

2. Se ha diseñado y aplicado de un plan de muestreo de un año que ha permitido conocer los principales contaminantes presentes en los efluentes, rangos de concentración y evolución estacional.
3. Se han identificado compuestos biorecalcitrantes presentes en los efluentes, seleccionándose aquellos representativos por su abundancia y características de comportamiento en los sistemas de tratamiento (tiabendazol, acetamiprid e imazalil). Para ellos se ha desarrollado/validado un método de análisis selectivo y sensible mediante LC-QTRAP-MS/MS que ha permitido determinar bajas concentraciones de los contaminantes seleccionados que sería imposible detectar en análisis convencionales mediante LC-UV, y que se encuentran más próximas a los niveles reales encontrados en los efluentes de la industria utilizada como modelo. De esta forma se ha obtenido una evaluación realista de los procesos, necesaria para garantizar la calidad de las aguas tratadas.
4. Se ha realizado la evaluación analítica de la eficacia de diferentes tratamientos biológicos (SBR, MBR e IBR) en la eliminación de contaminantes orgánicos modelo y en aguas reales, realizándose análisis tanto a la entrada como a la salida de los mismos. Los resultados del estudio confirman en todos los casos la presencia de compuestos refractarios al tratamiento biológico, lo que confirma la necesidad de aplicación de un tratamiento adicional.
5. Se ha realizado el seguimiento de los microcontaminantes orgánicos seleccionados en aguas simuladas y reales, durante los tratamientos fotocatalíticos estudiados en las diferentes condiciones ensayadas. Destacar aquí de nuevo la necesidad de la aplicación de técnicas de LC-MS, en especial en los estudios con aguas reales, debido a la complejidad de las mismas y a los bajos niveles de concentración (ng/L) a los que se encuentran los contaminantes.
6. Se han realizado estudios de identificación de productos de transformación (PTs) de los plaguicidas tiabendazol y acetamiprid durante los tratamientos. En ambos casos se han podido identificar un gran número de compuestos. El seguimiento de la cinética de los PTs ha permitido demostrar la mayor persistencia de algunos de ellos con respecto a los compuestos de origen, lo que reivindica la importancia de este tipo de estudios para una adecuada valoración y optimización de los procesos en condiciones reales.

Abstract:

The objective of the project is to explore new sustainable strategies based on the use of solar energy, for the regeneration of wastewater in order to reuse for agricultural, industrial or recreational purposes, (as RD 1620/2007). In this sense, attention should be given both the disinfection of the treated water from secondary processes (biological, activated sludge), and the elimination of recalcitrant pollutants that remain in the cycle of water reuse and accumulate in the environment.

Objectives:

1. Chemical characterization of wastewater and treated water coming from the company Andarax Citrus SA by LC-MS and GC-MS techniques adapted to the different composition of the same. Detection of indicator compounds that facilitate pollution control in routine.

2. Evaluation of the efficiency of different biological processes, in terms of capacity for the removal of organic pollutants and identification of persistent compounds.
3. Evaluation of the effectiveness of the different treatments developed in subprojects 1 and 2 to remove contaminants in water.
4. Identification of potential degradation products generated during the treatments

Publicaciones:

Revistas:

- Sánchez Pérez, J.A., Carra, I., Sirtori, C., Agüera, A., Esteban, B. **Fate of thiabendazole through the treatment of a simulated agro-food industrial effluent by combined MBR/Fenton processes at µg/L scale.** Water Research 2014, 51, 55–63. DOI: 10.1016/j.watres.2013.07.039
- Sirtori, C., Agüera, A., Carra, I., Sánchez Pérez, J.A. **Application of liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry to the identification of acetamiprid transformation products generated under oxidative processes in different water matrices.** Analytical and Bioanalytical Chemistry 2014, 406, 2549-2558. DOI: 10.1007/s00216-014-7678-y
- Prieto-Rodríguez, L., Oller, I., Klammerth, N., Agüera, A., Rodríguez, E.M., Malato, S. **Application of solar AOPs and ozonation for elimination of micropollutants in municipal wastewater treatment plant effluents.** Water Research 2013, 47, 1521-1528.
- Prieto-Rodríguez, L., Spasiano, D., Oller, I., Fernández-Calderero, I., Agüera, A., Malato, S. **Solar photo-Fenton optimization for the treatment of MWTP effluents containing emerging contaminants.** Catalysis Today 2013, 209 188-194. DOI: 10.1016/j.watres.2012.11.002

Cápítulos de Libro:

- Agüera, A., Gómez Ramos, M.M., Fernández-Alba, A.R. **Transformation products of pesticides in the environment: Analysis and occurrence.** Transformation products of emerging contaminants in the environment. Wiley, 2014. (Cap. 13) 387-412. ISBN: 978-1-118-33959-6

Congresos:

- Agüera, A., Gómez, M.M., Martínez Bueno, M.J. **Evaluation of organic micropollutants in water regeneration processes.** Comunicación oral. 245th ACS National Meeting. New Orleans, Louisiana, USA, Abril 2013.
- Sánchez Pérez, J.A., Esteban, B., Cabrera, A., Carra, I., Sirtori, C., Agüera, A. **Identification of biorecalcitrant micropollutants in food industry: Removal alternatives and characterization of generated transformation products.** Comunicación oral. 245th ACS National Meeting. New Orleans, Louisiana, USA, Abril 2013.
- Malato, S., Oller, I., Agüera, A., Prieto, L., Miralles, S. **Advanced treatments (solar AOPs and nanofiltration) for elimination of micropollutants in municipal wastewater treatment plant effluents.** Comunicación oral. 245th ACS National Meeting. New Orleans, Louisiana, USA, Abril 2013.
- Agüera, A., Sirtori, C., Esteban, B., Cabrera, A., Carra, I., Sánchez, J.A. **Identifying biorecalcitrant micropollutants in wastewater from a food industry and disposal alternatives: Thiabendazole, a case study.** Poster. Micropol & Ecohazard 2013. Zurich, Switzerland, Junio 2013.
- Prieto-Rodríguez, L., Spasiano, D., Oller, I., Agüera, A., Malato, S. **Removal of organic micro-contaminants from municipal waste water by an IBR system coupled to a solar photo-Fenton process as tertiary treatment.** Comunicación oral. 14th EuCheMs International Conf. on Chemistry and the Environment. Barcelona, Spain. Junio 2013.
- Prieto-Rodríguez, L., Fernández, P., Miralles-Cuevas, S., Oller, I., Agüera, A., Malato, S. **Optimization of mild heterogeneous photocatalysis with low concentration of TiO₂ for WWTP effluents containing microcontaminants.** Poster. Fourth Int. Conf. On Semiconductor Photochemistry. Prague, Czech Republic. Junio 2013.

- Agüera, A., Martínez-Bueno, M.J., Mezcua, M. **LC-MS-Based strategies for the analytical evaluation of wastewater treatments.** Comunicación oral. 20th International Symposium on Electro- and Liquid Phase-Separation techniques (ITP2013). Tenerife, Spain, Octubre 2013.
- Sirtori, C., Carra, I., Sánchez Pérez, J.A., Mezcua, M., Agüera, A. **Evaluation of acetamiprid transformation products generated during oxidation by hydroxyl radicals in different water matrices.** Comunicación oral. 3rd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP3). Almería, Spain, Octubre 2013.
- Lambropoulou, D., De Torres Socías, E., Oller, I., Agüera, A., Malato, S. **Degradation of Bupropion by Solar Driven Advanced Oxidation Processes at Pilot Scale: Kinetics, Transformation Products and routes.** Comunicación oral. 3rd European conference on environmental applications of advanced oxidation processes (EAAOP3). Almería, Spain. Octubre 2013.
- Prieto-Rodríguez, L., Oller, I., Agüera, A., Malato, S. **Pharmaceuticals behavior throughout a secondary immobilized biomass reactor followed by a solar photo-Fenton tertiary treatment.** Poster. 3rd European conference on environmental applications of advanced oxidation processes (EAAOP3). Almería, Spain. Octubre 2013.

Tesis Doctorales:

- **Eliminación de microcontaminantes orgánicos presentes en aguas residuales urbanas mediante combinación de procesos de depuración biológica y oxidación química.**

Doctorando: Lucía del Pilar Prieto

Directores: Isabel Oller / Ana Agüera

Fecha: 30/09/2013

2.2.5 Caracterización y tratamiento de aguas residuales de distinto origen (lixiviados de vertedero y efluentes de la industria del corcho)

Participantes:

- Grupo de Inv. "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas". Universidad de Almería (FQM-374)

Contactos:

A. Agüera (aaguera@ual.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia. Convocatoria 2012. (P12-RNM-1739)

Duración prevista:

Enero 2014 - Enero 2017

Situación:

En curso

Resumen:

El proyecto pretende abordar el tratamiento de aguas residuales complejas integrando procesos avanzados de oxidación (PAO) (foto-Fenton solar y O_3/H_2O_2) con biotratamiento (Bio), tanto en el sentido PAO/Bio como Bio/PAO, en función de las características de biodegradabilidad del agua a tratar. Se utilizarán dos tipos de aguas residuales de características claramente diferenciadas, lixiviado de vertedero y efluentes de la industria del corcho. Debido a la complejidad de estas aguas se realizará la caracterización inicial de la misma y el seguimiento de la evolución de los tratamientos mediante técnicas analíticas avanzadas (LC-MS, GC-MS), parámetros globales (TOC, DQO, biodegradabilidad, etc.) y baterías de bioensayos (toxicidad mediante diferentes organismos).

Objetivos:

1. Caracterización de aguas residuales de diverso origen mediante protocolos de análisis de amplio espectro que incluyan la selección de procedimientos de extracción y técnicas analíticas combinadas.
2. Establecimiento de una metodología global para determinar la detoxificación y biocompatibilidad de las aguas residuales tratadas mediante procesos avanzados, mediante la comparación de distintos métodos de medida de toxicidad y biodegradabilidad.
3. Selección de la mejor opción entre diferentes tratamientos de oxidación avanzada (foto-Fenton, O_3/OH^- , O_3/H_2O_2) y su combinación con depuración biológica.

Resultados durante 2013:

El proyecto se iniciará en 2014.

Abstract:

The project aims to address the treatment of complex wastewaters integrating different advanced oxidation processes (AOPs) (photo-Fenton and solar O_3/H_2O_2) with biotreatment (Bio). The strategies of treatment will include combinations of both PAO/Bio and Bio/PAO, depending on biodegradability characteristics of the water to be treated. Two types of wastewater, landfill leachate and effluents from the cork industry, will be used. Due to the complexity of these waters, advanced analytical techniques (LC-MS, GC-MS), global parameters (TOC, COD, biodegradability, etc.) and batteries of bioassays (toxicity by

different agencies) will be applied in the initial characterization of the waters and during the monitoring of the evolution of treatments.

Objectives:

- 1. Characterization of wastewaters from different origin by wide spectrum analytical protocols including extraction procedures and combined analytical techniques.*
- 2. Establishment of a comprehensive methodology for determining the biocompatibility and detoxification of wastewater treated by advanced processes, by comparing different methods for measuring toxicity and biodegradability.*
- 3. Selecting the best choice among different advanced oxidation treatments (photo- Fenton, $O_3/OH-O_3/H_2O_2$) and its combination with biological treatment.*

Publicaciones:

N.A.

2.2.6 Transferencia y Actividades Complementarias

1. Participación en el recientemente aprobado Grupo de Trabajo "WG5: Wastewater reuse" (<http://www.norman-network.net/?q=node/106>) de la red NORMAN (Nº W604002510) - Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances (<http://www.norman-network.net/>).

Participantes:

- Despo Fatta-Kassinos, (University of Cyprus)
 - Thomas Berendonk (Technical University of Dresden, Germany)
 - Celia Manaia (Universidade Católica Portuguesa, Portugal)
 - Eddie Cytryn (Volcani Agriculture Research Center, Israel)
 - Norbert Kreuzinger (Vienna University of Technology, Austria)
 - Hemda Garelick (Middlesex University, UK)
 - Josep Bayona (IDAEA-CSIC, Spain)
 - Ana Agüera, (Universidad de Almería, Spain)
 - Luigi Rizzo (University of Salerno, Italy)
 - Marie-Noëlle Pons (CNRS-ENSIC, France)
 - Dr. Thomas Schwartz (Karlsruher Institut für Technologie)
2. Se ha remitido en enero de este año una propuesta para la creación de una European COST Action titulada: 'NEW AND EMERGING CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN WASTEWATER REUSE (NEREUS)'. La propuesta ha pasado la primera evaluación y se encuentra entre las 7 propuestas que han sido invitadas a audiencia en Bruselas. Se espera que se anuncie el resultado final a mediados de mayo próximo.
 3. Organización del congreso internacional "3rd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes" EAAOP3, celebrado del 27 al 30 de octubre de 2013 en Almería. El congreso ha contado con la participación de 250 investigadores de más de 30 países que han presentado 300 ponencias, distribuidas entre 60 conferencias y 240 carteles científicos. Este congreso ha sido organizado conjuntamente por el Grupo de Inv. "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas" (FQM-374), el Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua" (BIO-263) y la Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" (PSA- CIEMAT).



2.3 ACTIVIDADES EN “TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS”

El personal del grupo de investigación forma parte también del grupo del Plan Andaluz de Investigación (PAI) “Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua, BIO263” creado en 1999 en el seno del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería (UAL). Durante estos años, el grupo ha ido incrementando su actividad científica en el campo de la biotecnología de microalgas, en la fermentación de hongos filamentosos y, actualmente, en la depuración y descontaminación de aguas contaminadas con tóxicos persistentes. Existe una estrecha colaboración entre su personal de la UAL y de la PSA, materializada en la codirección de tesis doctorales y publicaciones conjuntas. Asimismo, se colabora asiduamente con el grupo “Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental”, complementando y fortaleciendo las principales líneas de trabajo actuales.

2.3.1 Líneas estratégicas del grupo

Estudio de la fotocatalisis solar para la eliminación de sustancias tóxicas y la desinfección de aguas, así como su combinación con métodos biológicos avanzados. Las líneas estratégicas de actuación son:

- Aplicación de foto-Fenton solar a la descontaminación de aguas tóxicas
- Aplicación de foto-Fenton solar a la eliminación de microcontaminantes en aguas depuradas
- Aplicación de foto-Fenton solar a la desinfección de aguas depuradas (regeneración)
- Combinación de foto-Fenton solar con reactores biológicos de membrana (pre- y post-tratamiento)
- Optimización de la operación y desarrollo de nueva tecnología para foto-Fenton
- Economía del agua

Main research lines:

Study of solar photocatalysis for the removal of toxic substances and water disinfection and its combination with advanced biological methods. The strategic lines of action are:

- *Use of solar photo-Fenton for decontamination of toxic water*
- *Use of solar photo-Fenton for micropollutant removal from treated wastewater*
- *Use of solar photo-Fenton for wastewater disinfection*
- *Combination of solar photo-Fenton and membrane bioreactor (pre-and post-treatment)*
- *Optimization of the operation and development of new technology for photo-Fenton*
- *Water economics*

2.3.2 Investigadores principales del grupo

José Antonio Sánchez Pérez (Scopus Author ID 7006076735)

Catedrático de Universidad. Departamento de Ingeniería. Químico Industrial (1988) y Doctor en Ciencias Químicas (1992) por la Universidad de Granada. Ha participado en catorce proyectos de I+D de ámbito nacional e internacional, liderando siete de ellos, así como en una docena de contratos con empresas. Ha dirigido diez tesis doctorales en distintos campos como la biotecnología de microalgas, la fermentación de hongos filamentosos y el tratamiento de aguas y es coautor de cuatro patentes y una centena publicaciones científicas en revistas internacionales.

José Antonio Sánchez Pérez (Scopus Author ID 7006076735)

Full Professor. Department of Engineering. Degree in Chemical Engineering by Univ. of Granada (1988); PhD by the Univ. of Granada (1992). He has been involved in 14 research projects (European and Spanish projects) and has leaded 7 of them. 12 Research contracts with private companies most of them related with the development of Solar Technologies applied to wastewater treatment. He has directed ten PhD theses in different fields such as biotechnology of microalgae, filamentous fungi fermentation and water treatment, co-authored 100 peer-reviewed international papers.

Manuel Ignacio Maldonado Rubio (Scopus Author ID: 7102035826)

Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Almería (2001). Licenciado C. Químicas (Ing. Química) por la Universidad de Granada (1994). Master en Ciencias Medioambientales por el Instituto de Investigaciones Ecológicas (Málaga, 1999). Desde 2002 es investigador en el Área de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar en la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT).

Su labor científica ha estado fundamentalmente centrada en Proyectos de I+D relacionados con la descontaminación de aguas mediante procesos de oxidación avanzada. Ha participado (participa) como investigador en 8 Proyectos Nacionales, 12 Proyectos Internacionales (IV, V y VI European Union Framework Programmes) y 4 Contratos de Investigación con Empresas relacionados con el desarrollo de Tecnologías Solares para el tratamiento de aguas residuales industriales y desalación.

Autor de 3 libros en Editorial Nacional y co-autor de 20 libros y capítulos de libros en Editorial Internacional, co-autor de 86 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto (factor h=31), más de 116 contribuciones a Congresos y Simposiums internacionales y diversas contribuciones a congresos nacionales.

Manuel Ignacio Maldonado Rubio (Scopus Author ID: 7102035826)

Degree in Chemistry by Univ. of Granada (1994); PhD by the Univ. of Almería (2001). Master in Environmental Sciences by the Instituto de Investigaciones Ecológicas (Málaga, 1999). Working for CIEMAT since 2002. Scientific production summary: 86 paper-reviewed international publications (h index 31), co-author of 3 books as well as 20 chapters in others, 116 communications to international congresses and 4 communications to national congresses. He has involved in 12 European Union research projects (4th, 5th and 6th Framework Programmes), 8 National research projects and 4 R&D Contracts with private companies related with the development of Solar Technologies applied to wastewater treatment.

2.3.3 Miembros del grupo

- José Antonio Sánchez Pérez (UAL)



- Manuel Ignacio Maldonado (PSA-CIEMAT)



- Antonia Pilar Fernández (PSA-CIEMAT)



- José Luis Casas López (UAL)



- José Luis García Sánchez (UAL)



- Isabel María Román Sánchez (UAL)



- M^a de la Menta Ballesteros Martín (UAL-Pablo de Olavide)



- Lucas Santos-Juanes Jordá (UAL)



- Ana Belén Esteban García (UAL)



- Alejandro Cabrera Reina (UAL)



- Elisabet Ortega Gómez (UAL)



- Irene Carra Ruiz (UAL)



- Gracia Rivas Ibáñez (UAL)



2.3.4 Sistema acoplado de depuración biológica (biorreactores de membrana) y fotocátalisis solar (foto-Fenton) para el tratamiento de aguas contaminadas con tóxicos persistentes no biodegradables (FOTOMEM)

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

S. Malato (sixto.malato@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2010. (P10-RNM-3772)

Duración prevista:

Enero 2009 – Diciembre 2012. Prorrogado hasta diciembre 2013.

Situación:

Finalizado

Resumen:

Los procesos actuales de depuración biológica de aguas residuales no son eficaces en la eliminación de una variedad de tóxicos persistentes (plaguicidas, residuos industriales, fármacos) que imposibilitan, en su caso, el re-uso del agua tratada. Existe información acerca de la posibilidad de combinar métodos de tratamiento basados en la oxidación química de contaminantes no biodegradables hasta conseguir que lo sean, con reactores biológicos basados en fangos activados en pequeños dispositivos de laboratorio. La información sobre cinéticas de ambos procesos (químico y biológico) integrados y las propiedades tóxicas e inhibitorias de los diferentes compuestos que se generan durante el tratamiento oxidante es realmente escasa. Más aún, la poca experimentación llevada a cabo en planta piloto ha sido hasta ahora una de las razones principales para la ausencia de aplicaciones industriales en este campo. Este proyecto pretende ser un paso adelante en este tema y profundizar en la investigación que actualmente se está desarrollando de forma coordinada entre investigadores de la Plataforma Solar de Almería y del departamento de Ingeniería Química de la universidad de Almería que forman parte del Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL), Centro Mixto (CIEMAT-UAL).

Objetivos:

1. Estudiar la foto-degradación de contaminantes persistentes en aguas residuales y la toxicidad/biodegradabilidad de los intermedios de reacción generados.
2. Diseño y construcción de un sistema integrado fotocátalisis-biológico a escala planta piloto.
3. Depuración de los intermedios de foto-oxidación en biorreactores de membrana.
4. Estudio de las variables del proceso y evaluación económica.
5. Difusión de los resultados y fomento de la cultura científica.

Resultados durante 2013:

Se ha trabajado en la redacción de la solicitud de patente nacional titulada "Ensayo y procedimiento para la evaluación de la biodegradabilidad rápida de aguas mediante *Pseudomonas putida*" P201300029, y como aplicación de este proceso se ha escrito un artículo científico. El bioensayo utiliza un

inóculo estandarizado de bacterias liofilizadas y el concepto "eficiencia de biodegradación" determinado mediante la DQO. La principal aportación durante 2013 ha sido el desarrollo de un modelo para el dimensionado de planta de foto-Fenton solar que tiene en cuenta las variables ambientales locales (irradiancia y temperatura).

Por otro lado, se ha estudiado la capacidad máxima de tratamiento de un MBR para las aguas residuales tóxicas pretratadas a dos niveles de mineralización: 40 % (eliminación de ingredientes activos) y 57% (óptimo para acoplar con un SBR). En las condiciones estudiadas, el MBR fue capaz de degradar ambos tipos de aguas residuales y la reducción de la intensidad del tratamiento fotocatalítico no tuvo ningún efecto sobre la capacidad máxima de tratamiento del MBR. Se han definido dos nuevos parámetros α' (aproximación fraccional a la velocidad máxima) y β' (aproximación fraccional a la biodegradación máxima) que permiten estimar los valores correctos de HRT para lograr la máxima capacidad de tratamiento del sistema. Estos parámetros se aplicaron también a ensayos de DBO simulando las condiciones de funcionamiento del MBR: relación de F/M de cada HRT. El cálculo de los nuevos parámetros α' y β' permitió estimar la capacidad máxima de tratamiento del sistema en concordancia con los valores de α y β encontrados previamente. En consecuencia, el ensayo con DBO se considera una herramienta útil para predecir el comportamiento del MBR y evitar así el uso de plantas piloto, largos tiempos de experimento y análisis costosos.

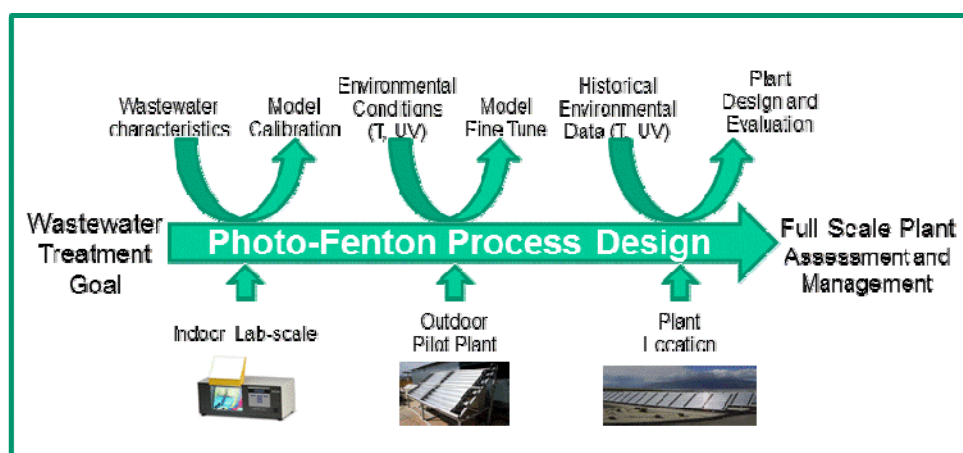


Fig. 2.1. Etapas en el proceso de dimensionado de una planta para foto-Fenton solar

Abstract:

The aim of this project is to gain further insight into the development of coupled methods of solar photocatalysis and biological oxidation for the regeneration of waters polluted with non biodegradable persistent pollutants. The main objective is to design, build and evaluate a coupled system of solar photocatalysis (photo-Fenton) with a membrane bioreactor, by using kinetic chemical and biological models for a specific group of pollutants. This system is expected to generate decontaminated water, whose quality allows its use in agriculture and industry (according to RD 1620/2007).

Objectives:

1. Study of changes of toxicity and biodegradability of a pesticide mixture in aqueous solution treated by means of solar photocatalysis (photo-Fenton) vs. the intensity of the photochemical process

2. Study the biologic purification achieved by membrane bioreactors for two coupling configurations:
i) photocatalysis pre-treatment and posterior biologic oxidation ii) purification in a bioreactor and photocatalytic post-treatment of the effluent.
3. Study of the effect of the operational variables of the process on system performance and economic evaluation.

Publicaciones:

- Sánchez Pérez, J. A., Román Sánchez, I. M., Carra, I., Cabrera Reina, A., Casas López, J. L., Malato, S. **Economic evaluation of a combined photo-Fenton/MBR process using pesticides as model pollutant. Factors affecting costs.** Journal of Hazardous Materials 2013, 244-245, 195-203. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.11.015
- Ballesteros Martín, M. M., Ortega-Gómez, E., Esteban García, B., Sánchez Pérez, J. A. **A new bioseed for determination of wastewater biodegradability. Analysis of the experimental procedure.** Environmental Science and Pollution Research 2013. DOI: 10.1007/s11356-013-227-3
- Cabrera Reina, A. Santos-Juanes Jordá, L., García Sánchez, J.L., Casas López, J. L., Maldonado, M.I., Sánchez Pérez, J.A. **Effects of environmental variables on the photo-Fenton plant design.** Chemical Engineering Journal 2014, 237, 469-477. DOI: 10.1016/j.cej.2013.10.046
- Cabrera Reina, A. Santos-Juanes Jordá, L., García Sánchez, J.L., Casas López, J. L., Maldonado, M.I., Sánchez Pérez, J.A. **Biological oxygen demand as a tool to predict membrane bioreactor best operating conditions for a photo-Fenton pretreated toxic wastewater.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2014 Aceptado. DOI: 10.1002/jctb.4295

Patente:**Ensayo y procedimiento para la evaluación de la biodegradabilidad rápida de aguas mediante Pseudomonas putida**

Inventores (p.o. de firma): María de la Menta Ballesteros Martín, José Antonio Sánchez Pérez, José Luis Casas López, Sixto Malato Rodríguez

N. de solicitud: P201300029

País de prioridad: España

Fecha de solicitud: 21/12/2012

Entidad titular: Universidad de Almería

Países a los que se ha extendido: Unión Europea

Tesis Doctorales:

- **Combinación de fotocatálisis solar con biorreactores de membrana para el tratamiento de aguas tóxicas. Modelado del proceso foto-Fenton como herramienta de diseño y optimización.**

Doctorando: Alejandro Cabrera Reina

Directores: José Luis Casas López / Manuel Ignacio Maldonado Rubio / Lucas Santos-Juanes Jordá

Fecha: 26/11/2013

2.3.5 Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocátalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT
- Grupo de Inv. "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas". Universidad de Almería (FQM-374)

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es)
A. Agüera (aaguera@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (CTQ2010-20740-C03-01)

Duración prevista:

Enero 2011 – Diciembre 2013

Situación:

Finalizado

Resumen:

La reutilización de aguas residuales requiere de tratamientos físico-químicos de afino que devuelvan al agua una calidad adecuada al destino previsto. El objetivo general del proyecto consiste en estudiar nuevas estrategias tecnológicas sostenibles basadas en el uso de la energía solar, para la regeneración de aguas residuales con el fin de su reutilización para usos agrícolas, industriales o recreativos (según RD 1620/2007). En este sentido, debe prestarse atención tanto a la desinfección de las aguas depuradas procedentes de procesos secundarios (biológicos, fundamentalmente fangos activos), como a la eliminación de contaminantes persistentes no degradados en los procesos convencionales y que, por tanto, no salen del ciclo de reutilización del agua y se acumulan en el medio ambiente.

Objetivos:

1. Estudiar diferentes tratamientos basados en el uso de la radiación solar para la regeneración del efluente de una depuración biológica.
2. Estudiar la cinética de foto-degradación de contaminantes orgánicos presentes en las aguas depuradas.
3. Estudiar la cinética de desinfección de las aguas depuradas.
4. Analizar el efecto de la depuración biológica en la etapa posterior de acondicionamiento del agua para su reutilización (tecnología empleada, grado de depuración logrado).
5. Desarrollar y aplicar métodos analíticos basados en espectrometría de masas que permitan una adecuada evaluación de las aguas antes y después de los tratamientos.
6. Evaluar los procesos de regeneración propuestos desde el punto de vista económico, de aseguramiento de la calidad y de viabilidad para su aplicación agronómica.

Resultados durante 2013:

Se ha considerado la dosificación intermitente o continua de Fe para tratar a pH neutro aguas con concentraciones de contaminantes de $\mu\text{g/L}$. En esta tarea se ha prestado especial atención a la generación de intermedios de reacción durante la eliminación de microcontaminantes, en estrecha

colaboración con la unidad funcional de Ciesol "Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental" dando lugar los artículos "Fate of thiabendazole through the treatment of a simulated agro-food industrial effluent by combined MBR/Fenton processes at $\mu\text{g/L}$ scale" en *Water Research* 51: 55–63 (2014) y "Application of liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry to the identification of acetamiprid transformation products generated under oxidative processes in different water matrices" publicado en *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (2014) [DOI 10.1007/s00216-014-7678-y].

Se ha estudiado la cinética de foto-degradación de contaminantes orgánicos presentes en las aguas depuradas para bajas concentraciones y se ha trabajado en un nuevo enfoque del proceso foto-Fenton solar para eliminar microcontaminantes, que ha sido el estudio del efecto interrelacionado de la radiación incidente y la concentración de Fe. Para este propósito, la experimentación se llevó a cabo en laboratorio y planta piloto con una mezcla de acetamiprid, tiabendazol e imazalil ($100 \mu\text{g/L}$ de cada uno) como modelo de contaminantes. Los resultados indicaron que por encima de $15 \text{ W}_{\text{UV}}/\text{m}^2$ y un paso óptico de 5 cm (el más comúnmente usado para este tipo de aplicación), la concentración de hierro limita el proceso y había exceso de irradiancia en estas condiciones. Por otra parte, y teniendo en cuenta las circunstancias de exceso de irradiación, se ensayó un paso óptico mayor (10 cm). Los resultados mostraron que puede ser tratado un mayor volumen de aguas residuales, aunque con una velocidad de degradación más lenta, en este caso dependiente de la irradiancia. En consecuencia, la operación puede mejorarse por medio de la dosificación de hierro como una función de la radiación.

Asimismo, una importante parte del trabajo en planta piloto se ha dedicado a la desinfección de aguas residuales reales mediante foto-Fenton a pH neutro, prestando atención a los distintos factores que influyen en el proceso y especialmente a la variabilidad anual de las aguas reales. Se ha estudiado el efecto de la temperatura, la matriz de agua y el efecto de la materia orgánica presente. Se ha considerado la inactivación de *Escherichia coli* y coliformes totales presentes en efluentes secundarios de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. La inactivación bacteriana se evaluó en CPC mediante experimentos de control para determinar los efectos individuales del estrés mecánico, pH, concentración de reactivos, y la radiación UVA, así como los efectos combinados de los rayos UVA y UVA - Fe - H_2O_2 . El efecto germicida sinérgico de la energía solar UVA con 50 mg L^{-1} de H_2O_2 condujo a desinfección completa (hasta el límite de detección) de coliformes totales en 120 min. El proceso de desinfección se vio acelerado mediante foto-Fenton, logrando la inactivación total en 60 min. La reducción de la concentración de bicarbonato natural que se encuentra en el agua residual $250\text{-}100 \text{ mg L}^{-1}$ no dio lugar a una mejora significativa en la inactivación bacteriana. Además, se evaluó el efecto de la dosis de peróxido de hidrógeno y de hierro. Las mejores condiciones fueron de 50 mg L^{-1} de H_2O_2 y 20 mg L^{-1} de Fe^{2+} . Debido a la variabilidad estacional del agua residual, la constante cinética de inactivación varió entre $0,07 \pm 0,04$ y $0,17 \pm 0,04 \text{ min}^{-1}$ para otoño e invierno. Por otra parte, el agua tratada por foto-Fenton solar cumple con los requisitos de calidad microbiológica para la reutilización de aguas residuales en el riego, de acuerdo con las directrices de la OMS, y en particular con la legislación española.

Otro aspecto abordado ha sido el efecto de la depuración biológica en la etapa posterior de acondicionamiento del agua para su reutilización prestando especial atención al efecto del pH en la

etapa biológica para facilitar y reducir los costes de la etapa fotocatalítica. Se ha demostrado que controlar el pH en 7 o ligeramente ácido (6,5) reduce sustancialmente la acumulación de bicarbonatos obteniéndose efluentes con muy baja concentración de esta especie química que actúa como secuestrador de radicales hidroxilo y por tanto, ralentiza significativamente la velocidad de eliminación de microcontaminantes. La depuración biológica a pH libre tiende a acumular dióxido de carbono en el tampón natural de bicarbonato-carbonato elevando el pH en torno a 8 y dando lugar a concentraciones elevadas de bicarbonato. En consecuencia, se necesitan grandes consumos de ácido para hacer viable un posterior proceso fotocatalítico.

Finalmente, respecto a la eficiencia en la utilización del agua en la industria agroalimentaria, tomando como modelo la empresa Cítricos del Andarax, se ha estudiado la influencia de la regulación de los vertidos (canon de vertido y canon de saneamiento) sobre la corrección de externalidades negativas medioambientales en la industria agroalimentaria, así como la heterogeneidad del canon de saneamiento en las distintas comunidades autónomas españolas. También se ha tratado la relación entre la tributación ambiental sobre vertidos y el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas.

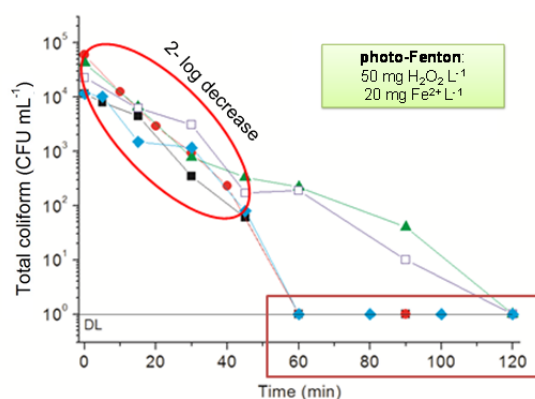
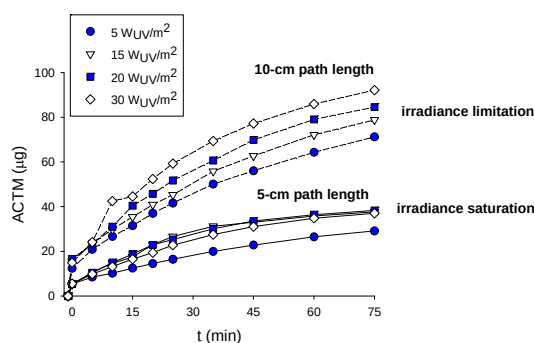


Fig. 2.2. Comparación de la inactivación de coliformes totales en diferentes días durante las estaciones de otoño e invierno



Amount of degraded ACTM ($C_0 = 100 \mu\text{g}$) by photo-Fenton with a path length of 5 cm (0.4 L) and 10 cm (0.8 L)

Fig. 2.3. Efecto de la irradiancia y del paso óptico en la eliminación del plaguicida Acetamiprid

Abstract:

The reuse of wastewater requires physical and chemical treatments that returned to the water adequate quality to the intended destination. The objective of the project is to explore new sustainable strategies based on the use of solar energy, for the regeneration of wastewater in order to reuse for agricultural, industrial or recreational purposes, (as RD 1620/2007). In this sense, attention should be given both the disinfection of the treated water from secondary processes (biological, activated sludge), and the elimination of recalcitrant pollutants that remain in the cycle of water reuse and accumulate in the environment.

Objectives:

1. Explore different treatments based on the use of solar radiation for wastewater reclamation.
2. Consider the kinetics of photo-degradation of recalcitrant pollutants present in the treated waters.
3. Consider the kinetics of disinfection of treated water.
4. Analysis of the effect of the biological treatment on the further photocatalytical treatment for water re-use (technology employed, treated water quality).

5. *Developing and applying mass spectrometry analytical methods for an adequate assessment of wastewater treatment.*
6. *Processes assessment from economic and quality assurance point of view and reuse for agricultural purposes.*

Publicaciones:

- Carra, I., Casas López, J.L., Santos-Juanes, L., Malato, S., Sánchez Pérez, J.A. **Iron dosage as a strategy to operate the photo-Fenton process at initial neutral pH.** Chemical Engineering Journal 2013, 224, 67-74. DOI: 10.1016/j.cej.2012.09.065
- Carra, I., Ortega-Gómez, E., Santos-Juanes, L., Casas López, J.L., Sánchez Pérez, J.A. **Cost analysis of different hydrogen peroxide supply strategies in the solar photo-Fenton process.** Chemical Engineering Journal 2013, 224, 75-81. DOI: 10.1016/j.cej.2012.09.067
- Carra, I., Malato, S., Santos-Juanes, L., Casas López, J.L., Sánchez Pérez, J.A. **Study of iron sources and hydrogen peroxide supply in the photo-Fenton process using acetaminophen as model contaminant.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2013, 88 (4), 636-643. DOI: 10.1002/jctb.3879
- Ortega-Gómez, E., Esteban García, B., Ballesteros Martín, M. M., Fernández Ibáñez, P., Sánchez Pérez, J.A. **Inactivation of Enterococcus faecalis in simulated wastewater treatment plant effluent by solar photo-Fenton at initial neutral pH.** Catalysis Today 2013, 209, 195– 200. DOI: 10.1016/j.cattod.2013.03.001
- Román Sánchez, M., Carra, I., Sánchez Pérez, J.A. **El uso sostenible del agua: tributos medioambientales y nuevos procesos de descontaminación mediante energías renovables.** Estudios de Economía Aplicada 2013, 31(1), 197-216
- Sánchez Pérez, J.A., Carra, I., Sirtori, C., Agüera, A., Esteban García, B. **Fate of thiabendazole through the treatment of a simulated agro-food industrial effluent by combined MBR/Fenton processes at µg/L scale.** Water Research 2014, 51, 55–63. DOI: 10.1016/j.watres.2013.07.039
- Carra, I., Malato, S., Jiménez, M., Maldonado, M. I., Sánchez Pérez, J.A. **Microcontaminant removal by solar photo-Fenton at natural pH run with sequential and continuous iron additions.** Chemical Engineering Journal 2014, 235, 132–140. DOI: 10.1016/j.cej.2013.09.029
- Ortega-Gómez, E., Esteban García, B., Ballesteros Martín, M. M., Fernández Ibáñez, P., Sánchez Pérez, J.A. **Solar photo-Fenton for water disinfection: An investigation of the competitive role of model organic matter for oxidative species.** Applied Catalysis B: Environmental 2014, 148–149, 484– 489. DOI: 10.1016/j.apcatb.2013.09.051
- Carra, I., García Sánchez, J. L., Casas López, J.L., Malato, S., Sánchez Pérez, J.A. **Phenomenological study and application of the combined influence of iron concentration and irradiance on the photo-Fenton process to remove micropollutants.** Science of the Total Environment 2014, 478, 123–132. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.066
- Román Sánchez, M., Carra, I., Sánchez Pérez, J.A. **Promoting environmental technology using sanitary tax: the case of agro-food industrial wastewater in Spain.** Environmental Engineering and Management Journal 2014. Aceptado
- Jiménez, M., Maldonado, M. I., Rodríguez, E. M., Hernández-Ramírez, A., Saggioro, E., Carra, I., Sánchez Pérez, J.A. **Supported TiO₂ solar photocatalysis at semi-pilot scale: Degradation of pesticides found in citrus processing industry wastewater, reactivity and influence of photogenerated species.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2014, In press. DOI 10.1002/jctb.4299.
- Sirtori, C., Agüera, A., Carra, I., Sánchez Pérez, J.A. **Application of liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry to the identification of acetamiprid transformation products generated under oxidative processes in different water matrices.** Analytical and Bioanalytical Chemistry 2014. Aceptado. DOI 10.1007/s00216-014-7678-y
- Carra, I., García Sánchez, J. L., Malato, S., Sánchez Pérez, J.A. **Modelling micropollutant removal by solar photo-Fenton.** Global NEST Journal 2014. Aceptado.

2.3.6 Combinación de tecnologías intensivas para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Diseño de un proceso integrado (AQUAPYME)

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. L. Casas (jlcasas@ual.es)
S. Malato (sixto.malato@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2010. (P10-RNM-5951)

Duración prevista:

Julio 2011 – Julio 2015

Situación:

En curso

Resumen:

Existen actualmente nuevas tecnologías para la regeneración de aguas residuales que devuelven al agua la calidad adecuada al destino previsto (según RD 1620/2007), sin embargo, los diferentes costes y problemáticas en cuanto a su aplicación indican la necesidad de profundizar en su estudio teniendo en cuenta la minimización del coste energético y del riesgo ambiental que facilite su implementación. Además, es también necesario, para garantizar la calidad de las aguas regeneradas, evaluar estos tratamientos, incluyendo el estudio del riesgo potencial asociado a la reutilización del agua tratada.

El objetivo general del proyecto consiste en estudiar la combinación de tecnologías intensivas sostenibles para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Para tal fin se diseñará un nuevo proceso integrado basado en el uso de reactores de membrana anóxicos y fotocátalisis solar para la regeneración de aguas residuales industriales de PYMES que permita su reutilización según RD 1620/2007. En este sentido, debe prestarse atención tanto a la desinfección de las aguas depuradas como a la eliminación de contaminantes persistentes. Así mismo, también se llevará a cabo la aplicación de ultrasonidos para minimizar la producción de fangos.

Objetivos:

1. Evaluar la combinación de diferentes tecnologías intensivas sostenibles basadas en el uso de membranas y fotocátalisis solar para el tratamiento de efluentes de PYMES.
2. Estudiar la eliminación de nutrientes de efluentes de EDARI de PYMES mediante biorreactores anóxicos de membrana.
3. Integrar tratamientos basados en ultrasonidos para minimizar la generación de fangos en biorreactores de membrana.
4. Evaluar los procesos propuestos desde el punto de vista económico y de aseguramiento de la calidad.

Resultados durante 2013:

Los trabajos realizados durante el año 2013 se han centrado en tres tareas:

1. Construcción y operación de la planta de doble lazo

Se ha llevado a cabo la construcción de una nueva planta de fotocátalisis basada en un reactor tubular de doble lazo sobre un espejo plano. Este tipo de diseño persigue incrementar el volumen irradiado por unidad de superficie y está especialmente diseñado para aquellos procesos en los que se opera en condiciones de saturación por luz no siendo esta un factor limitante de la velocidad. Los objetivos de esta tarea han sido Disponer de tecnología propia de fotorreactores para foto-Fenton solar, desarrollando una planta piloto basada en el criterio de optimización del espacio para el tratamiento terciario de aguas residuales de forma que se maximice el volumen tratado por unidad de área, se simplifique su construcción y se reduzcan los costes de construcción e instalación y los costes de operación.

Las características de la planta son:

- Captador plano, superficie de captador: 2.66 m²
- Diámetro de tubo, ext.: 50 mm, int.: 48 mm
- Longitud de tubo: 1.5 m (1.41 m)
- N° de tubos: 23
- Volumen iluminado: 57.2 L
- Volumen total: 127 L
- Razón Vi/Vt: 0.45
- $t_{\text{circulación}}$: 6 minutos
- t_{mezcla} : 50 minutos

Los experimentos de puesta en marcha se realizaron utilizando en un caso paracetamol como contaminante modelo y en otro caso una mezcla de cinco plaguicidas. En ambos casos los experimentos se realizaron por duplicado en una planta provista de tecnología CPC, tecnología de referencia en tratamiento de aguas mediante el proceso foto-Fenton.

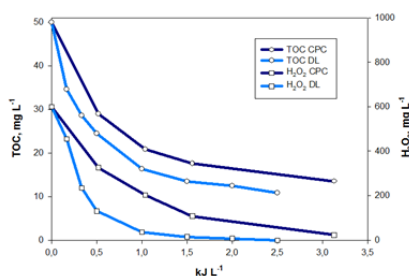


Fig. 2.5. Mineralización y consumo de peróxido en el tratamiento de paracetamol

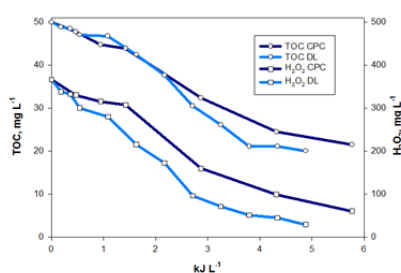


Fig. 2.6. Mineralización y consumo de peróxido en el tratamiento de la mezcla de cinco plaguicidas

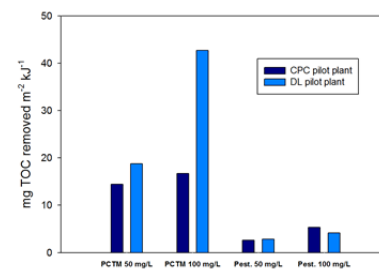


Fig. 2.7. Comparativa de las capacidades de tratamiento por unidad de superficie para alcanzar el 50% de mineralización

Las figuras muestran la comparativa de los resultados calculados en base a kJ L⁻¹. Aunque la evaluación completa de la planta requiere de mayor experimentación, los primeros resultados son buenos, demostrando el hecho de que no siempre la luz es un factor limitante de la velocidad en el proceso foto-Fenton, abriendo la puerta al diseño de nuevos fotorreactores que permitan tratar una mayor cantidad de agua en un menor espacio, aspecto clave para la aplicación de este tipo de tecnologías en el tratamiento terciario de efluentes.

2. Evaluación de la Huella Hídrica de la producción de gazpacho

Uno de los principales desafíos para la industria agroalimentaria es alcanzar un uso sostenible del agua, reduciendo su consumo y disminuyendo su contaminación. En este sentido, para poder definir las estrategias adecuadas para hacer una gestión sostenible se puede usar la Huella Hídrica que es indicador del uso del agua que incluye tanto el uso de agua directo como indirecto y se mide en términos de volumen de agua consumida (evaporada o que no retorna) y/o contaminada.

En esta tarea se ha calculado la Huella Hídrica de la producción de 1 L de gazpacho. El mayor peso de la Huella Hídrica del gazpacho (463 L), viene dado por la huella hídrica indirecta, aquella resultante de producir las verduras e ingredientes necesarios para producir 1L de gazpacho, suponiendo un 80% del total. Puesto que el agua que se contamina durante la producción de este producto es tratada en la propia depuradora de la industria, se considera que la componente gris de la Huella Hídrica directa es cero. Sin embargo, un valor de 80L por L de gazpacho se produciría de agua gris si no se tratase esa agua y se vertiera directamente al medio natural utilizando la Demanda Química de Oxígeno como parámetro. Por tanto, si se desarrollasen nuevas normativas en cuanto a la legislación de contaminantes emergentes, el sector industrial tendría que esforzarse utilizando tecnologías avanzadas como los procesos de oxidación avanzada.

3. Influencia de la operación del proceso biológico sobre el pos-tratamiento fotocatalítico en un sistema acoplado BIO/POA.

Uno de los aspectos clave en la operación de un sistema acoplado formado por un proceso biológico seguido de uno fotocatalítico son las posibles interacciones que se producen. La forma en la que se lleva a cabo operación de la etapa biológica condiciona las características del efluente que tendrá que ser tratado mediante fotoFenton. En este sentido se ha estudiado el efecto de la depuración biológica en la etapa posterior de acondicionamiento del agua para su reutilización prestando especial atención al efecto del pH en la etapa biológica para facilitar y reducir los costes de la etapa fotocatalítica. Se ha demostrado que controlar el pH en 7 o ligeramente ácido (6,5) reduce sustancialmente la acumulación de bicarbonatos obteniéndose efluentes con muy baja concentración de esta especie química que actúa como secuestrador de radicales hidroxilo y por tanto, ralentiza significativamente la velocidad de eliminación de microcontaminantes. La depuración biológica a pH libre tiende a acumular dióxido de carbono en el tampón natural de bicarbonato-carbonato elevando el pH en torno a 8 y dando lugar a concentraciones elevadas de bicarbonato. Los resultados obtenidos demuestran que el control de pH no afecta a la capacidad de tratamiento biológico mientras que si tiene una fuerte influencia en la acumulación de carbonatos y bicarbonatos, aspecto clave en el posterior proceso fotoFenton. El estudio del proceso combinado requiere de su evaluación económica con el fin de determinar el óptimo de operación. En este sentido el consumo de ácido en el control de pH en el proceso biológico y en el proceso fotocatalítico resulta clave. Los menores costes se obtienen en los casos en que se lleva a cabo un control de pH en la etapa biológica seguida del tratamiento fotocatalítico a pH ácido.

Abstract:

Currently, there are new technologies for water reuse that return to water the quality appropriate to the intended destination (according to RD 1620/2007), however, the high costs and the different problems in their application indicating the need for further research on taking into account the minimization of energy cost and environmental risk to facilitate their implementation. Furthermore, it is also necessary to ensure the quality of reclaimed water, evaluate these treatments, including the study of potential risk associated with the reuse of treated water. The overall project objective is to study the combination of intensive sustainable technologies to improve the quality of water effluents in SMEs. To this end, a new integrated process design based on the use of anoxic membrane bioreactors and solar photocatalysis for the regeneration of industrial wastewater reuse permitting SMEs according to RD 1620/2007. In this regard, attention should be paid both to the disinfection of treated water to the elimination of persistent pollutants. Likewise, also be carried out the application of ultrasound to minimize the production of sludge.

Objectives:

1. Evaluate the combination of different technologies based on sustainable intensive use of membranes and solar photocatalysis for the treatment of effluents from SMEs.
2. Studying nutrient removal effluent IWWTP of SMEs through anoxic membrane bioreactor.
3. Integrate ultrasound-based treatments to minimize the generation of sludge in membrane bioreactors.
4. Assess the processes proposed from the standpoint of economic and quality assurance.

Publicaciones:

- Rivas Ibáñez, G., Casas López, J. L., Esteban García, B. and Sánchez Pérez, J.A. **Controlling pH in biological depuration of industrial wastewater to enable micropollutant removal using a further Advanced Oxidation Process.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology 2014 Disponible online. DOI: 10.1002/jctb.4371

2.3.7 Diseño de nuevos reactores para foto-Fenton solar aplicados a la regeneración de aguas. Economía, escalado y control del proceso (SULAYR)

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
P. Fernández (pfernandez@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2012. (P12-RNM-1437)

Duración prevista:

Enero 2014 – Enero 2017

Situación:

En curso

Resumen:

Se han estudiado muchos aspectos acerca del proceso foto-Fenton con el objetivo de conocer los factores que le afectan y poder así mejorar su eficiencia. Un factor importante es el tipo de fotoreactor donde el proceso tiene lugar. Estos fotorreactores se fueron desarrollando a escala experimental en paralelo con las demás aplicaciones de la energía solar y en los primeros años del siglo XXI se aceptó mayoritariamente el uso de plantas basadas en captadores solares cilindro parabólicos compuestos (CPC). Habiendo llegado a un conocimiento del proceso bastante amplio, se plantea el estudio de nuevas plantas de tratamiento que tengan en cuenta el espacio (área) que los fotorreactores ocupan y el volumen de agua que se puede tratar en esta área. Este concepto fue poco estudiado en el desarrollo de las primeras plantas ya que se priorizó en la capacidad de captación solar.

Objetivos:

1. Diseñar nuevos fotorreactores solares (configuración del captador, diámetro de tubo, disposición de los tubos) para optimizar tanto la radiación solar incidente como el volumen de agua tratado por unidad de área.
2. Diseñar nuevos procesos de control y automatización del reactor para foto-Fenton solar aplicando diversas estrategias de adición de reactivos optimizando su consumo.
3. Estudiar el escalado del proceso de regeneración de aguas considerando las variables de diseño del reactor y los objetivos de calidad del agua tratada.
4. Realizar un estudio económico detallado de la implantación de los fotorreactores desarrollados para el tratamiento terciario de aguas residuales.

Resultados durante 2013:

La comunicación de la concesión del proyecto fue en noviembre de 2013, siendo la fecha de inicio el 30 de enero de 2014.

Abstract:

Many aspects about the photo- Fenton process have been studied in order to understand the factors that affect it and thus improve efficiency. An important factor is the type of photoreactor where the process

takes place. These photoreactors were developed at pilot scale in parallel with other applications of solar energy and the use of plants based on compound parabolic trough solar collectors (CPC) is commonly accepted. The study of new treatment plants that take into account the surface (area) that photoreactors occupy and the volume of water that can be treated in this area arises. This concept was rarely studied in the development of the first plants because it was prioritized in the capacity of solar collection.

Objectives:

1. Designing new solar to optimize both the solar radiation use and the volume of water treated per unit area.
2. Designing new process control and automation.
3. Studying the scaling up of the process considering the objectives of quality of treated water.
4. Economic study of the implementation of the developed photoreactors for tertiary treatment of wastewater

Publicaciones:

N.A.

2.3.8 Regeneración mediante energía solar de las aguas residuales de la guardería de la Universidad de Almería

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es)

Fuente de financiación:

Vicerrectorado de Infraestructuras, Campus y Sostenibilidad. Acuerdo de colaboración con la Universidad de Almería

Duración prevista:

Julio 2010 – Julio 2015

Situación:

En curso

Resumen:

El Vicerrectorado de Infraestructuras, Campus y Sostenibilidad, cuenta entre sus competencias la planificación, gestión y coordinación de las infraestructuras y los equipamientos pertenecientes a la Universidad de Almería, así como la adecuación del espacio universitario a criterios de sostenibilidad medioambiental. El diseño de la planta de regeneración del agua residual estará basado en los estudios previos realizados en las instalaciones del CIESOL por el grupo de investigación y tendrá el carácter de planta experimental para el desarrollo de nuevos proyectos y evaluación de los sistemas instalados.

Objetivos:

- Regenerar las aguas residuales que se producen en la guardería de la Universidad de Almería. Para ello, se pretende instalar una planta para depurar el agua residual mediante sistemas biológicos avanzados y a continuación desinfectar el agua tratada mediante métodos fotocatalíticos con energía solar.

Resultados durante 2013:

Tras la instalación de un MBR de 1 m³ al día de capacidad de tratamiento que opera en continuo, y el diseño y construcción de un reactor para foto-Fenton combinado como postratamiento con el MBR, se han obtenido aguas regeneradas para riego de jardines.

Abstract:

The aim of this agreement is to treat the wastewater produced in the nursery of the University of Almería. To do this, a pilot plant to treat wastewater using advanced biological systems and then disinfect the treated water using solar photocatalytic methods has been installed.

Publicaciones:

N.A.

2.3.9 Optimización del proceso de tratamiento de aguas ácidas mediante membranas (ósmosis inversa)

Participantes:

Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación:

Sociedad Anónima de Depuración y Tratamientos, SADYT. FEDER 2013. (Orden CIN/1729/2011)

Duración prevista:

Julio 2012 – Diciembre 2014.

Situación:

En curso

Resumen:

En esta línea de investigación se va a estudiar la efectividad de los tratamientos de membranas para el tratamiento del agua del río Odiel, contaminada por distintos materiales procedentes de actividades mineras, fundamentalmente metales, metales pesados y otras materias inorgánicas, así como la reducción de los costes de dicho tratamiento por reducción del consumo de energía. La tecnología utilizada será la ósmosis inversa, a la que habrá que dotar de un potente pretratamiento dado que esta agua es muy complicada de tratar por membranas debido a la presencia de metales como el hierro y el aluminio, que pueden ensuciar las membranas de forma irreversible.

Objetivos:

El objetivo general es desarrollar un proceso de tratamiento mediante membranas de ósmosis inversa con vertido cero (líquido) del agua para la mejora de la calidad del agua de la presa de Alcolea, sostenible ambiental, energética y económicamente.

Resultados durante 2013:

Declarados confidenciales

Abstract:

In this line of research the effectiveness of membrane treatments for Odiel river water is studied. This water is polluted with various materials from mining activities, mainly metals, heavy metals and other inorganic materials. The technology used is reverse osmosis. The overall objective is to develop a treatment using reverse osmosis membranes with zero discharge (liquid) to improve water quality with the goal of sustainability, energy and cost savings.

Publicaciones:

N.A.

2.3.10 Aplicación de la energía solar térmica a la desalación

Participantes:

- Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
- Unidad de "Unidad de Desalación Solar". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
D. Alarcón (diego.alarcon@psa.es)

Fuente de financiación:

CIEMAT

Duración prevista:

Abril 2012 – Diciembre 2014

Situación:

En curso

Resumen:

El proceso de destilación multiefecto-bomba de calor alimentado mediante captadores solares es el proceso de destilación solar existente de mayor eficiencia, duplicando la de la tecnología más eficiente hasta el año 2006: la destilación multiefecto alimentada mediante captadores cilindroparabólicos. Sin embargo, es preciso probar experimentalmente su funcionamiento, ya que el sistema existente en la Plataforma Solar de Almería no ha operado alimentando la bomba de calor solarmente.

Objetivos:

El objetivo general de este proyecto es avanzar en el desarrollo de la tecnología de destilación solar más eficiente, la destilación multiefecto (MED) acoplada a una bomba de calor de absorción de doble efecto (DEAHP) hasta establecer el diseño precomercial de un sistema solar optimizado. Para ello se fijan los siguientes objetivos específicos:

- Evaluación experimental de la tecnología MED-DEAHP con aporte energético solar conectando el sistema existente en la Plataforma Solar de Almería a un campo de captadores cilindroparabólicos (ACUREX) que se encuentra junto al sistema.
- Optimización técnico-económica del diseño del sistema solar MED-DEAHP optimizando el de cada subsistema y estableciendo un diseño final precomercial.

Resultados durante 2013:

Declarados confidenciales

Abstract:

The multi-effect distillation process-heat pump is powered by solar panels doubling that of the most efficient technology until 2006: the multi-effect distillation powered by trough collectors. However, it is necessary to experimentally test its operation, as the existing system at the Plataforma Solar de Almería has not operated feeding solar-heat pump. The overall objective of this project is to advance the development of the more efficient solar distillation technology, multi-effect distillation (MED) coupled to a heat pump of double-effect absorption (DEAHP) to establish the design of a precomercial optimized Solar system.

Objectives:

- *Experimental evaluation of MED-DEAHP technology with solar energy input by connecting the existing system at the Plataforma Solar de Almería to a trough collector field (ACUREX) located next to the system.*
- *Technical-economic optimization of the design of the solar system MED-DEAHP optimizing each subsystem and establishing a precomercial final design.*

Publicaciones:

N.A.

2.3.11 Transferencia y Actividades Complementarias

3rd EUROPEAN CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL APPLICATIONS OF ADVANCED OXIDATION PROCESSES (EAAOP3)

El congreso internacional "3rd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes" EAAOP3, se celebró del 27 al 30 de octubre de 2013 en Almería. El congreso contó con la participación de 250 investigadores de más de 30 países que presentaron 300 ponencias, distribuidas entre 60 conferencias y 240 carteles científicos. La conferencia inaugural fue a cargo del Prof. Pierre Pichat, de CNRS-Lyon (Francia), contando además con conferencias magistrales del Prof. Pulgarín (Suiza), Prof. Beltrán (España), Prof. Arslan-Alaton (Turquía) y Prof. Byrne (Reino Unido). En el material impreso del congreso se ha incluido a Ciesol en los agradecimientos. En su organización han colaborado las unidades funcionales "regeneración de aguas" y "análisis ambiental". Este congreso ha sido organizado conjuntamente por el Grupo de Inv. "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas" (FQM-374), el Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua" (BIO-263) y la Unidad de "Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar" (PSA- CIEMAT).

The international conference "3rd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes" EAAOP3 was held from 27 to 30 October 2013 in Almería. The congress was attended by 250 researchers from over 30 countries. 300 papers were presented, distributed among 60 conferences and 240 scientific posters. The inaugural lecture was delivered by Prof. Pierre Pichat, CNRS-Lyon (France), also having lectures Prof. Pulgarín (Switzerland), Prof. Beltran (Spain), Prof. Arslan-Alaton (Turkey) and Prof . Byrne (United Kingdom). In printed material of the congress Ciesol been included in the acknowledgment. The functional units "water reclaiming" and "environmental analysis" have collaborated in the Organizing Committee.

2.3.12 Otros

1. Se ha presentado una propuesta al programa de la UE: Water JPI Pilot Call

Title: New concepts in solar open reactors to limit the release of emergent contaminants from domestic WWTPs effluents

Socios/Países:

- French National Center for Scientific Research (CNRS-HSM, UMR5569) (Francia)
- CIEMAT, Plataforma Solar de Almería (España)
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Barcelona (España)
- Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt (DLR) (Alemania)
- Research Center of Solar Energy-CIESOL, Almería (España)
- French National Center of Scientific Research (CNRS-PROMES UPR8521) (Francia)

La propuesta ha sido desestimada por error administrativo de uno de los grupos participantes.

2. En el Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad. Proyectos I+D+i - Retos 2013, se ha presentado el proyecto:

"Reducción de costes del proceso foto-Fenton solar mediante reactores extensivos abiertos para la regeneración de aguas"

IP:

- J.A. Sánchez Pérez
- A. Agüera López.

2.4 ACTIVIDADES EN MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO

A esta unidad funcional pertenecen investigadores del grupo “Automática, Robótica y Mecatrónica” (TEP 197) de la Universidad de Almería y de la Unidad de Automática de la Plataforma Solar de Almería. El grupo TEP-197 tiene entre sus ámbitos de trabajo la agricultura intensiva, la energía solar, la biotecnología y la bioingeniería, además de la educación en automatización, mecanización y robótica en general. Las actividades colaborativas entre el grupo y la PSA vienen desarrollándose de forma ininterrumpida a lo largo de los últimos 20 años, siendo destacable la participación de investigadores de la UAL en el desarrollo algunos de los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) de lazos de ensayo ubicados en las instalaciones de la PSA. En fechas recientes se ha abierto, a raíz de las experiencias adquiridas en el proyecto ARFRISOL, una nueva línea actuación vinculada a las aplicaciones de los sistemas de control al confort térmico y la eficiencia energética en la edificación.

2.4.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Modelado y control de plantas termosolares.
- Modelado, control y robótica en agro-industria.
- Eficiencia energética y control de confort en edificios.
- Modelado y control de fotobiorreactores.
- Redes energéticas inteligentes.
- Sistemas de supervisión y comunicaciones industriales.

Main research lines:

- *Modeling and control of thermosolar plants.*
- *Modeling, control and robotics in agriculture.*
- *Energy efficiency and comfort control in buildings.*
- *Engineering Education.*
- *Modeling and control of photobioreactors.*
- *Electric vehicles.*
- *Predictive and robust control.*
- *Supervisory systems and industrial communications.*

2.4.2 Investigadores principales del grupo

Manuel Berenguel Soria

Es catedrático del área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Almería. Es Ingeniero Industrial (número 2 de la XXI promoción) y Dr. Ingeniero Industrial por la Universidad de Sevilla, donde recibió el Premio Extraordinario de Doctorado. Ha impartido docencia en 5 titulaciones (16 asignaturas) y en 7 programas de doctorado. Es investigador responsable del grupo *Automática, Robótica y Mecatrónica* de la Universidad de Almería (UAL), perteneciente al Plan Andaluz de Investigación (código TEP-197). Ha dirigido y co-dirigido 10 tesis doctorales. Ha liderado 7 proyectos de investigación y ha participado en 30. Es co-autor de 2 libros internacionales, 9 libros nacionales, 8 capítulos de libros internacionales, 3 capítulos de libros nacionales, 80 revistas internacionales y 2 nacionales, 127 artículos en

congresos internacionales, 71 en congresos nacionales y 2 patentes. Ha sido y es miembro de la Junta Directiva del Comité Español de Automática (CEA) desde enero de 2003 a septiembre de 2008 y desde septiembre de 2012 a la actualidad y senior member de la IEEE Control System Society. Es miembro del Technical Committee of International Federation of Automatic Control (IFAC) TC 8.01 Control in Agriculture, del IFAC Technical Committee 6.3 on Power and Energy Systems. Desde diciembre de 2012 es Vicepresidente de CTAER en representación de la Universidad de Almería.

Manuel Berenguel

He received the industrial engineering and Ph.D. (extraordinary doctorate award) degrees from the University of Seville, Seville, Spain. He is Full Professor of automatic control and systems engineering with the University of Almería, Almería, Spain. He is the head of the research group Automatic Control, Electronics, and Robotics, University of Almería. His research interests include control education and in predictive and hierarchical control, with applications to solar energy systems, agriculture, and biotechnology. He has authored and coauthored over 200 technical papers in international journals and conferences. Prof. Berenguel has been member of the board of Governors of the Spanish Association in Automatic Control from 2003 to 2008 and from 2012 till now, member of IEEE Control System Society from 2000, and a member of the IFAC Technical Committee TC 8.01 Control in Agriculture and 6.3 Power Energy Systems. From December 2012 he is Vicepresident of CTAER.

Luis José Yebra Muñoz

Recibió el título de Ingeniero Técnico de Telecomunicación en 1993 por la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid) y el título de Licenciado en Física por la UNED en 1997. En mayo de 2006 alcanzó el grado de Doctor en Ingeniería Informática por la UNED, dentro del programa de doctorado en Informática y Automática. Es co-autor de 3 libros, 15 artículos en revistas internacionales, más de 25 artículos en congresos internacionales y ha participado en más de 15 proyectos de investigación.

Luis José Yebra

He received the telecommunications technical engineering degree from Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, Spain, in 1993, and the physics degree and the Ph.D. degree in computer science engineering from the Spanish National Distance Education (UNED), Madrid, Spain, in 1997 and 2006, respectively. He has authored 3 books, 15 scientific articles published in international journals, over 25 conference proceedings papers, and participated as a researcher in more than 15 research projects.

2.4.3 Miembros del grupo

- Manuel Berenguel Soria (UAL)



- Luis José Yebra Muñoz (PSA-CIEMAT)



- Manuel Pérez García (UAL)



- Lidia Roca Sobrino (PSA-CIEMAT)



- Francisco Rodríguez Díaz (UAL)



- Javier Bonilla Cruz (PSA-CIEMAT)



- José Luis Guzmán Sánchez (UAL)



- Alberto de la Calle Alonso (PSA-CIEMAT)



- José Carlos Moreno Úbeda (UAL)



- Luis Castillo López (PSA-CIEMAT)



- José Domingo Álvarez Hervás (UAL)



- Manuel Pasamontes Romera (UAL)



- María del Mar Castilla Nieto (UAL)



- Ricardo Silva Parreira (UAL)



- Fco. Javier Cabrera Corral (UAL)



2.4.4 Estrategias de control no lineal con compensación de retardo en plantas de generación de energía solar

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
- Departamento de Automática de la Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Contactos:

M. Berenguel (beren@ual.es)
J. Normey (julio@das.ufsc.br)

Fuente de financiación:

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Programa Hispano-Brasileño de cooperación internacional (PHB2009-0008-PC)

Duración prevista:

Enero 2007 – Diciembre 2013

Situación:

Finalizado

Resumen:

Este proyecto tiene por objetivo el estudio y proyecto de los sistemas de control en plantas de generación de energía renovable, principalmente energía solar térmica y fotovoltaica. Estas plantas de generación de energía son sistemas dinámicos complejos caracterizados principalmente por no linealidades, acoplamientos e importantes retardos, y exigen la utilización de estrategias de control complejas cuando se desea alcanzar altos rendimientos.

Objetivos:

1. Análisis, modelado y simulación de las diversas plantas disponibles por parte de los grupos de investigación.
2. Desarrollo de algoritmos de control monovariable y multivariable para sistemas no lineales con retardo. Se estudiarán algoritmos basados en compensadores de tiempo muerto y control predictivo basado en modelo. Se realizarán estudios de estabilidad local y global.
3. Implementación y prueba experimentales de los algoritmos de control propuestos en las plantas reales disponibles en las universidades participantes.
4. Análisis del impacto económico alcanzable por el uso de las técnicas de control propuestas en las diferentes plantas. Estudio de posibles mejoras en los procesos y viabilidad para su posterior transferencia tecnológica al sector industrial.
5. Para los sistemas fotovoltaicos, se estudiará el problema de conversión de la energía generada y de conexión de las diferentes unidades de generación de energía renovable al sistema de distribución de energía eléctrica existente en cada país.

Resultados durante 2013:

Durante este año del proyecto se han obtenido importantes avances en los distintos subobjetivos planteados, dando lugar a numerosas publicaciones conjuntas entre los grupos españoles y brasileños en el marco del proyecto. Así mismo, se han obtenido otras publicaciones por parte del grupo de la Universidad de Almería derivadas de las ideas y resultados planteados durante este primer año de

colaboración. Las publicaciones obtenidas cubren aspectos de modelado, control lineal, control no-lineal y control de sistemas con retardo, donde la gran mayoría de las estrategias desarrolladas han sido validadas experimentalmente en los procesos reales disponibles para el desarrollo del proyecto (fundamentalmente en las instalaciones de la Plataforma Solar de Tabernas de Almería del CIEMAT, el edificio CIESOL de la Universidad de Almería y los fotobiorreactores industriales de la Fundación Cajamar). Cuatro investigadores participantes en el proyecto están en la actualidad desarrollando sus tesis doctorales y cuatro investigadores del grupo español van a realizar estancias (dos estancias de seis meses y dos estancias de un mes) en la universidad brasileña.

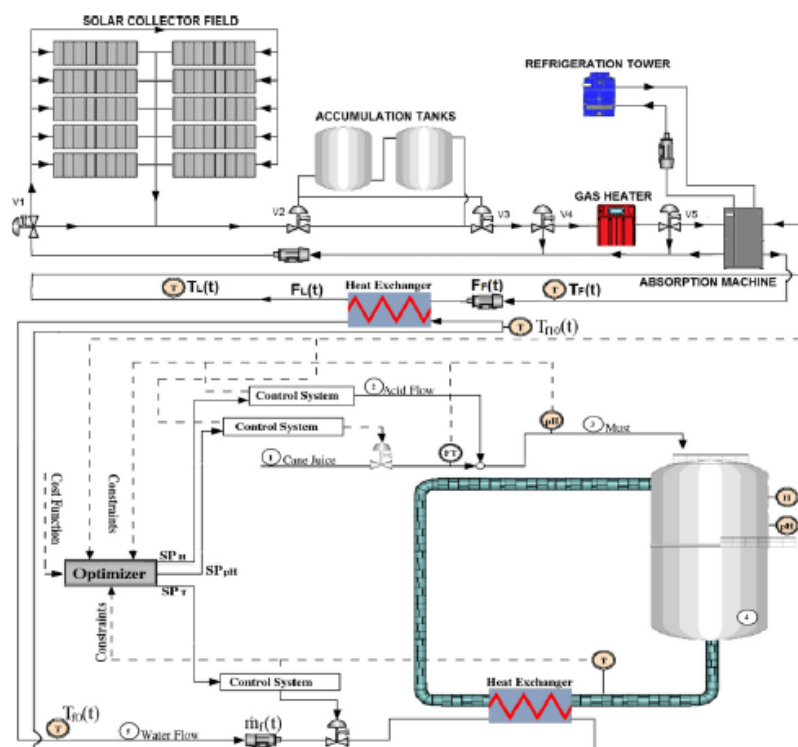


Fig. 2.8. Producción de etanol con frío solar

Abstract:

The main objective of this project is the collaboration and exchange of researchers in the framework of control of renewable energy systems, mainly focused to solar thermal and photovoltaics. These are complex systems characterized by nonlinearities, coupling and delays, requiring the use of advanced control techniques to achieve high performance.

Publicaciones:

Revistas

- Camacho, E.F., Berenguel, M., Gallego, A. **Control of thermal solar energy plants.** Journal of Process Control 2014, 24, 332-340. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.09.026
- Álvarez, J.D., Redondo, J.L., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E., Berenguel, M., Ortigosa, P.M. **Optimizing building comfort temperature regulation via model predictive control.** Energy and Buildings 2013, 57, 361-372. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.044

- *Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Rivera, D.E., Berenguel, M., Dormido, S. Perspectives on control-relevant identification through the use of interactive tools.* Control Engineering Practice 2013, 21, 171-183. DOI: 10.1016/j.conengprac.2012.09.019
- *Americano da Costa, M., Pasamontes, M., Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Berenguel, M. Viability and application of ethanol production coupled with solar cooling.* Applied Energy 2013, 102, 501-509. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.07.046
- *Andrade, G.A., Pagano, D.J., Álvarez, J.D., Berenguel, M. A practical NMPC with robustness of stability applied to distributed solar power plants.* Solar Energy 2013, 92, 106-122. DOI: 10.1016/j.solener.2013.02.013
- *Moreno, J.C., Guzmán, J.L., Normey-Rico, J.E., Baños, A., Berenguel, M. A combined FSP and reset control approach to improve the set-point tracking task of dead-time processes.* Control Engineering Practice 2013, 21, 351-359. DOI: 10.1016/j.conengprac.2012.12.002
- *Pasamontes, M., Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Camacho, E.F. Hybrid modeling of a solar-thermal heating facility.* Solar Energy 2013, 97, 557-590. DOI: 10.1016/j.solener.2013.09.024
- *Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Rodríguez, F. Thermal comfort control using a non-linear MPC strategy: A real case of study in a bioclimatic building.* Journal of Process Control 2013. Aceptado. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.08.009
- *Normey-Rico, J.E., Guzmán, J. L. Unified PID Tuning Approach for Stable, Integrative, and Unstable Dead-Time Processes.* Industrial & Engineering Chemistry Research 2013, 52, 47, 16811-16819. DOI: 10.1021/ie401722y
- *Scherer, H.F., Pasamontes, M., Guzmán, J.L., Álvarez, J.D., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E. Efficient building energy management using distributed model predictive control.* Journal of Process Control 2013. Aceptado. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.09.024
- *Andrade, G.A., Pagano, D.J., Álvarez, J.D., Berenguel, M. Sliding mode control of distributed parameter processes.* Journal of Control Automation and Electrical System 2014, 25, 291-302. DOI 10.1007/s40313-014-0114-x
- *Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Fernández, I., Acien, F.G., Normey, J.E. Event-Based Predictive Control of pH in Tubular Photobioreactors.* Computers and Chemical Engineering 2014, 65, 28-39. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2014.03.001
- *Scherer, H.F., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E., Álvarez, J.D., Guzmán, J.L. Distributed MPC for a resource constrained control system.* Optimal Control Applications and Methods 2014. Aceptado

Congresos

- *Andrade, G.A., Fernández, I., Pagano, D.J., Guzmán, J.L., Berenguel, M. Modelagem, Simulação e Controle de Fotobiorreatores Industriais para Produção de Biomassa (Microalgas).* IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas e IV Workshop da Redealgas. Florianópolis, Brasil, 2013.
- *Fernández, I., Andrade, G.A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Pagano, D.J. Modelo Narmax de pH en un Fotobiorreactor Tubular de Microalgas.* XXXIV Jornadas de Automática. Terrassa, España, 2013.
- *Pérez-Castro, Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Berenguel, M. Modelado y control de un vehículo eléctrico mediante una estrategia de control predictivo basado en modelo.* XXXIV Jornadas de Automática. Terrassa, España, 2013.
- *Rodríguez, Guzmán, J. L., Berenguel, M., Häggglund, T., Normey-Rico, J. E. Diseño de controladores por adelanto para inversión de retardo no realizable.* XXXIV Jornadas de Automática. Terrassa, España, 2013.
- *Pawlowski, A., Guzmán, J. L., Berenguel, M., Fernández, I., Acien, F.G., Normey, J.E. Control de pH en fotobiorreactores utilizando un GPC basado en eventos.* Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI). Fortaleza, Brasil, 2013.

- *Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Rodríguez, F., Berenguel, M.* **A multivariable nonlinear MPC control strategy for thermal comfort and indoor-air quality.** 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON'2013. Vienna, Austria 2013.
- *Scherer, H.F., Pasamontes, M., Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E.* **Distributed model predictive control for energy distribution.** 12th biannual European Control Conference, ECC'13. Zurich, Switzerland, Julio 2013.
- *Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Normey-Rico, J.E.* **Optimal feedforward compensators for integrating plants.** 19th IFAC World Congress 2014. Cape Town, South Africa 2014.
- *Andrade, G.A., Pagano, D.J., Guzmán, J.L.,* **Boundary control of an industrial tubular photobioreactor using sliding mode control.** 19th IFAC World Congress 2014. Cape Town, South Africa 2014.
- *Pasetti, G.O., Normey-Rico, J.E., Sartori, R., Guzman, J. L.* **Sistema Híbrido Energeticamente Eficiente para Aquecimento de Água para o Banho.** V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Brasil 2014.

2.4.5 Estrategias de control y supervisión para la gestión integrada de instalaciones en entornos energéticamente eficientes

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
- Universidad de Sevilla
- Universidad de Valladolid
- PSA-CIEMAT

Contactos:

F. Rodríguez (frrodrig@ual.es)
L. Yebra (luis.yebra@psa.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (DPI2010-21589-C05)

Duración prevista:

Enero 2010 – Diciembre 2013

Situación:

Finalizado

Resumen:

Continuación del proyecto "Control jerárquico de procesos con conmutación en el modo de operación: aplicaciones a plantas solares e invernaderos" (DPI2007-66718-C04-04).

Objetivos:

1. Desarrollo de metodologías para la obtención de modelos de sistemas energéticamente eficientes y entornos en los que se utilice energías renovables (principalmente la solar).
2. Desarrollo de estrategias de control predictivo robusto e híbrido para este tipo de procesos, en los que existen diferentes niveles jerárquicos de decisión a considerar (debido a diferentes escalas dinámicas, su naturaleza híbrida y los cambios en los modos de operación).
3. Desarrollo de formulaciones de MPC cooperativo para una gestión económica óptima de los sistemas de energía heterogéneos que se consideran en este proyecto.
4. Implementación y validación de los desarrollos anteriores en diferentes plantas industriales con diferentes demandas en generación, distribución y uso de electricidad y procesos térmicos.

Resultados durante 2013:

Las tareas relacionadas con el primer objetivo relacionado con el modelado de las plantas de ensayo, se han cumplido en su totalidad con respecto a lo establecido en el inicio del proyecto. Se disponía de las siguientes tres plantas que se han preparado y/o acondicionado para la obtención de datos con el fin de calibrar y validar modelos:

- Edificio CIESOL. Se ha desarrollado un modelo basado en primeros principios de las variables climáticas y de confort (térmico y de calidad de aire) de los diferentes habitáculos del edificio, así como un modelo del consumo eléctrico del edificio mediante redes neuronales. Durante el año 2013, se ha obtenido un modelo de los habitáculos del edificio basado en redes neuronales. Además, se ha realizado la instalación de sensores de iluminación en la sala de juntas del edificio y se está trabajando en el modelado del confort lumínico. También se realizó la instalación de vatímetros en los principales elementos de consumo del edificio (instalación frío solar, bomba de

calor y aerotermo, compresores, etc.), obteniéndose modelos de consumo eléctrico de ellos. Algunos de estos desarrollos relacionados con el modelado, se han publicado en el libro internacional "Comfort control in buildings" de la serie Advances in Industrial Control de Springer; escrito por miembros del grupo de la Universidad de Almería.

- Invernadero. Se ha finalizado el modelo de las variables climáticas (temperatura, humedad y concentración de CO₂) con diferentes técnicas, así como el modelado del consumo energético (eléctrico y combustible) mediante redes neuronales.
- Vehículo eléctrico. Se han validado los modelos cinemático, dinámico, eléctrico, consumo energético y estado de las baterías

Con respecto al desarrollo de un marco común de modelado orientado al control de sistemas de energía, tarea liderada por el grupo CIEMAT-Plataforma Solar de Almería, se ha realizado un trabajo conjunto para definir las reglas de modelado generales que permitan la utilización consensuada de las herramientas que utilizan los diferentes grupos y el intercambio de información entre ellas, que ha finalizado con una metodología de utilización de modelos implementados con distintas herramientas (Simulink, Dymola, Ecosim-Pro, Modelica, etc.) mediante Functional Mockup Interface solucionando el problema que se planteó en la tarea 1.1. El desarrollo de esta tarea ha dado lugar a la publicación número 1 dentro de los congresos de ámbito nacional que recibió el premio al mejor trabajo en modelado y simulación en el marco de las XXXIV Jornadas de Automática.

Relacionado con el desarrollo de estrategias de control predictivo robusto e híbrido para este tipo de plantas, se han diseñado distintas estrategias de control (sobre todo predictivo) en el marco de una arquitectura de control jerárquico multiobjetivo común a todas ellas que se pueden resumir en lo siguiente:

- Edificio CIESOL. Se han desarrollado estrategias de control predictivo lineal (durante el año 2011) y no lineal (desde el 2012) para regular el confort térmico, concretamente del índice PMV. Durante el año 2013 se ha desarrollado un controlador jerárquico no lineal para el control eficiente del confort térmico y de la calidad de aire. Estos controladores se han validado de forma experimental en el propio edificio con unos resultados positivos que han dado lugar a algunas publicaciones. También hay que indicar, que se está trabajado con el grupo de la Universidad de Valladolid en el desarrollo de estrategias de control híbrido aplicadas a este edificio, realizándose dos estancias en la Universidad de Almería en febrero y junio de 2013. Además, se ha iniciado una colaboración con el grupo de Control de la Universidad Politécnica de Cataluña para el desarrollo de controladores repetitivos del confort térmico que tengan en cuenta los patrones de comportamiento de las personas en este tipo de entornos. Esta colaboración ha dado lugar a la publicación 3 en congreso internacional. Finalmente, se ha trabajado en el diseño de controladores jerárquicos basados en los términos de productividad y utilidad para el control del confort térmico en el edificio en función de los precios de la energía. Esta línea ha dado lugar a las publicaciones 1 y 2 en congresos internacionales. Por último se ha diseñado un marco para el confort lumínico de las diferentes salas combinando luz artificial con iluminación natural mediante persianas tipo venecianas con dos grados de libertad. Algunos de estos desarrollos relacionados con el control, se han publicado en el

libro internacional "Comfort control in buildings" de la serie Advances in Industrial Control de Springer Springer; escrito por miembros del grupo coordinado de la Universidad de Almería.

- Invernadero. En los dos primeros años del proyecto, se ha validado una arquitectura jerárquica multicapa multiobjetivo RTO-EMPC del control del crecimiento de cultivos bajo invernadero que ha dado lugar a una publicación. Durante el 2012, se trabajó en un nuevo marco de referencia basado en Decomposed control cuyos resultados preliminares se han validado en los ensayos del 2013, publicándose los mismos en la revista Optimal Control Applications and Methods. Por otra parte, se han validado diferentes estrategias de control (predictivo, robusto e híbrido), haciendo hincapié en diseño robusto mediante técnicas QFT de controladores predictivos tipo EMPC, con resultados más que aceptables que se espera sean publicados próximamente.). Además, relacionado también con el invernadero, y tal y como se indicó en los informes anteriores, se ha incluido como tema de investigación en el proyecto, la posibilidad de utilizar biomasa como fuente de energía alternativa para generar calor de proceso y CO₂ necesario en los procesos fisiológicos del cultivo. Durante el año 2013, el prototipo se ha validado y se encuentra en fase pre-comercial, dando lugar a la solicitud de patente número 201300422, titulada "Sistema combinado de calefacción y enriquecimiento carbónico a partir de biomasa".
- Vehículo eléctrico. Finalmente, durante el 2013, se ha procedido a la validación de la capa superior del sistema jerárquico de control para la generación y seguimiento de trayectorias y, al diseño de sistemas de control de orientación y velocidad del vehículo, teniendo en cuenta criterios de seguimiento de consignas y de ahorro energético que se traduce en un problema multiobjetivo. Además, hubo que tener en cuenta el efecto del deslizamiento, cuyo diseño se ha publicado en la revista 11. Otro resultado destacable la realización de una comparativa de gestión energética entre vehículos eléctricos puros y vehículos híbridos, que se ha publicado en el año 2014.

Basándose en la experiencia obtenida junto con el grupo de la Plataforma Solar de Almería en la planta desaladora solar, se han aplicado diseñado técnicas de control óptimo de la producción de agua bajo demanda de invernaderos y edificios, que han dado lugar a unos resultados que se han enviado a revisar a la revista Computer & Chemical Engineering, bajo el título Economic optimal control applied to a solar seawater desalination plant. Por otra parte, algunas de las técnicas de control desarrolladas en el proyecto se han probado en otras plantas similares (por ejemplo, con fuentes de energía solar), obteniéndose buenos resultados que han sido publicadas en revistas internacionales y congresos internacionales.

Relacionado con el desarrollo de formulaciones de MPC cooperativo para una gestión económica óptima de los sistemas de energía heterogéneos que se consideran en este proyecto, a lo largo del 2011 y 2012, se trabajó en la formulación de control predictivo cooperativo para la gestión óptima de energía bajo dos puntos de vista diferentes, y durante el año 2013 se han obtenido los siguientes resultados:

- Control óptimo de los diferentes habitáculos del edificio CIESOL (despachos, laboratorios, naves y salas de reuniones). Se ha desarrollado y validado ya un sistema de control predictivo supervisor de diferentes edificios/habitáculos que tienen en común una misma fuente de energía cuyos resultados se han publicado en una revista internacional (2). Además, en una segunda fase, se ha

diseñado un controlador MPC distribuido (cooperativo) para gestionar la demanda energética de diferentes recintos que tengan en común una misma fuente de energía. La estrategia de control propuesta se ha simulado obteniendo resultados prometedores que se han publicado en una revista internacional (14) y en un congreso de ámbito internacional (9). Además, se ha utilizado el sistema de colectores planos del edificio CIESOL para simular una generación de energía real que tenga que ser repartida entre diferentes habitaciones o recintos.

- Para la integración de todo el sistema (edificio, invernadero y vehículo eléctrico). Durante el 2013 se ha trabajado en la gestión integral de la energía con las tres plantas trabajando simultáneamente, bajo una arquitectura de control jerárquico multinivel multiobjetivo, considerándose precios de mercado, basado en técnicas de control predictivo cooperativo y distribuido. La mayor contribución ha sido una nueva interpretación de los conceptos de productividad y utilidad energética, cuyos resultados han dado lugar a una publicación en revista internacional (1) y los congresos internacionales (1) y (2).

Abstract:

This project deals with the analysis, study and application of modeling, control and optimization strategies (in the framework of Model-based Predictive Control, MPC) to achieve an efficient energy management in renewable energy micro-grids. The problem is composed by different control levels, because decisions about the final use of the available energy have to be made and there are therefore different objectives (minimizing the use of conventional fossil energy sources, economic, environmental and quality aspects, etc.) that give rise to a hierarchical control problem that requires coordination and cooperation between systems and that will be addressed using control techniques including —economic MPC, Real Time Optimization (RTO) and cooperative and distributed MPC, being also necessary to develop models, estimators and predictors of the energy generation and demand stages.

Objectives:

1. Development of methodologies for obtaining models of renewable energy micro-grids. The micro-grid paradigm will be extended to include heterogeneous sources and loads. The calculation of reduced models suited for analysis and design will be especially relevant.
2. Development of model predictive control strategies for renewable energy micro-grids, including cooperative MPC formulations for the optimal economic management of heterogeneous energy systems. The main focus will be on the development of strategies with potential applicability in complex processes.
3. Implementation and validation of the strategies in selected experimental plants. This will facilitate the development of the different tasks of the project over realistic conditions. Systems in which the energy comes from different sources (that should be combined for an optimal and safe exploitation) will be considered.

The fulfilment of the preceding goals would be a significant contribution in this field and it would have a real impact on this kind of processes. Therefore this proposal has aroused interest in different companies such as Hynergreen, Greenpower, Fundación Cajamar, Rijk Zwaan or Auenergy, naming only a few. The proposal is also a natural continuation follow-up of previous work carried by four of the research groups integrating the consortium, which has been extended to include an emergent group. The team has a remarkable experience in control systems backed by many papers published in some of the most cited scientific journals. We feel that significant contributions will be made because the research team has a

wide experience in MPC and energy systems and will benefit from close cooperation with other European research teams.

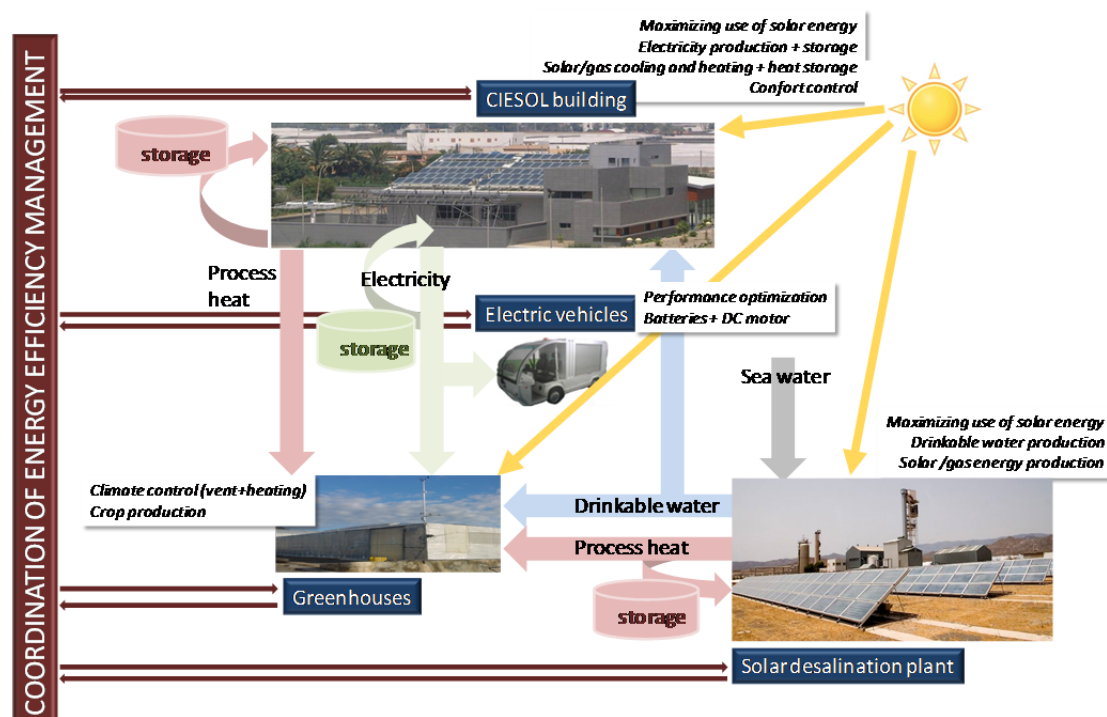


Fig. 2.9. Proyecto POWER

Publicaciones.

Revistas

- Agüero, J., Rodríguez, F., Giménez, A. **Energy management based on productiveness concept.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013, 22, 92–100. DOI: 10.1016/j.rser.2013.01.040
- Álvarez, J.D., Redondo, J.L., Camponogara, E., Normey-Rico, J., Berenguel, M., Ortigosa, P.M. **Optimizing building comfort temperature regulation via model predictive control.** Energy and Buildings 2013, 57, 361–372. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.044
- Andrade, G.A., Pagano, D.J., Álvarez, J.D., Berenguel, M. **A practical NMPC with robustness of stability applied to distributed solar power plants.** Solar Energy 2013, 92, 106–122. DOI: 10.1016/j.solener.2013.02.013
- Beschi, M., Berenguel, M., Visioli, A., Guzmán, J.L., Yebra, L.J. **Implementation of feedback linearization GPC control for a solar surface.** Journal of Process Control 2013, 23, 1545–1554. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.02.002
- Beschi, M., Berenguel, M., Visioli, A., Yebra, L.J. **Constrained control strategies for disturbance rejection in a solar furnaces.** Control Engineering Practice 2013, 21, 1410–1421. DOI: 10.1016/j.conengprac.2013.06.011
- Camacho, E.F., Berenguel, M., Gallego, A.J. **Control of thermal solar energy plants.** Journal of Process Control 2013. Available online. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.09.026
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Rodríguez, F. **Thermal comfort control using a non-linear MPC strategy: A real case of study in a bioclimatic building.** Journal of Process Control 2013. Available online. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.08.009
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Ortega, M.G., Arahál, M.R. **Neural network and polynomial approximated thermal comfort models for HVAC systems.** Building and Environment 2013, 59, 107–115. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.08.012

- *Americano da Costa, M.V., Pasamontes, M., Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Berenguel, M.* **Viability and application of ethanol production coupled with solar cooling.** *Applied Energy* 2013, 102, 501–509. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.07.046
- *Gonzalez, R., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Berenguel, M.* **Robust constrained economic receding horizon control applied to the two time-scale dynamics problem of a greenhouse.** *Optimal Control Applications and Methods* 2013. Available online. DOI: 10.1002/oca.2080.
- *Gonzalez, R., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Pradalier, C., Siegart, R.* **Control of off-road mobile robots using visual odometry and slip compensation.** *Advanced Robotics* 2013, 27 (11), 893–906. DOI: 10.1080/01691864.2013.791742
- *Moreno, J.C., Guzmán, J.L., Normey-Rico, J.E., Baños, A., Berenguel, M.* **A combined FSP and reset control approach to improve the set-point tracking task of dead-time processes.** *Control Engineering Practice* 2013, 21, 351–359. DOI: 10.1016/j.conengprac.2012.12.002
- *Pasamontes, M., Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Camacho, E.F.* **Hybrid modeling of a solar-thermal heating facility.** *Solar Energy* 2013, 97, 577–590. DOI: 10.1016/j.solener.2013.09.024
- *Scherer, H.F., Pasamontes, M., Guzmán, J.L., Álvarez, J.D., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E.* **Efficient building energy management using distributed model predictive control.** *Journal of Process Control* 2013. Available online. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.09.024
- *Silva, R., Pérez, M., Berenguel, M., Valenzuela, L., Zarza, E.* **Uncertainty and global sensitivity analysis in the design of parabolic-trough direct steam generation plants for process heat applications.** *Applied Energy* 2014, 121, 233–244. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.01.095

Congresos

- *Salazar, J., Guzmán, J.L., Álvarez, J.D., Tadeo, F.* **Control-oriented modelling of the solar climatization of a public building in mediterranean climate.** *Ecologic Vehicles Renewable Energies (EVER13)*, Mónaco, Mónaco, Marzo 2013.
- *Salazar, J., Castilla, M., Rodríguez, F., Tadeo, F.* **Minimization of the operation costs of a solar/gas Air-conditioning system using duration-based predictive control.** *The Mediterranean Green Energy Forum (MGEF13)*, Fes, Marruecos, Junio 2013.
- *Agüero, J., Rodríguez, F., Castilla, M., Giménez, A.* **Gestión eficiente de cargas térmicas en base a la previsión de precios del día siguiente.** *13th Spanish-Portuguese Conference on Electrical Engineering*, Valencia, España, Julio 2013.
- *Scherer, H.F., Pasamontes, M., Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E.* **Distributed Model Predictive Control for energy distribution.** *European Control Conference (ECC)*, Zúrich, Suiza, Julio 2013.
- *Álvarez, J.D., Costa-Castelló, R., Castilla, M., Camacho, E.F.* **Repetitive control to counteract the effect of people on thermal comfort control.** *European Control Conference (ECC)*, Zúrich, Suiza, Julio 2013.
- *Mena-Yedra, R., Rodríguez, F., Castilla, M., Arahál, M.R.* **A neural network model for energy consumption prediction of CIESOL bioclimatic building.** *8th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO)*, Salamanca, España, Septiembre 2013.
- *Bonilla, J., Álvarez, J.D., Roca, L., de la Calle, A., Yebra, L.J., Rodríguez, F.* **Intercambio de modelos entre herramientas de simulación con Functional Mock-up Interface (FMI).** *XXXIV Jornadas de Automática*, Terrasa, España, Septiembre 2013. Mejor Trabajo en Modelado y Simulación presentado a las Jornadas de Automática 2013 celebrado en Tarrasa (Barcelona) en septiembre de 2013
- *Pérez-Castro, A., Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Berenguel, M.* **Modelado y control de un vehículo eléctrico mediante una estrategia de control predictivo basado en modelo.** *XXXIV Jornadas de Automática*, Terrasa, España, Septiembre 2013.

- Agüero, J., Rodríguez, F., Castilla, M., Pereira, M. **Productiveness and Real Time Prices in energy management for HVAC systems.** 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Vienna, Austria Noviembre 2013.
- Beschi, M., Visioli, A., Berenguel, M., Roca, L. **A feedback linearization-based two-degree-of-freedom constrained controller strategy for a solar furnace** 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Vienna, Austria, Noviembre 2013.
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Rodríguez, F., Berenguel, M. **A multivariable nonlinear MPC control strategy for thermal comfort and indoor-air quality.** 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Vienna, Austria, Noviembre 2013.

Tesis Doctorales:

- **Estrategias avanzadas de control del confort para edificios energéticamente eficientes (Advanced comfort control techniques for energy efficient buildings).**
Doctorando: María del Mar Castilla Nieto
Directores: Francisco Rodríguez Díaz / José Domingo Álvarez Hervás
Fecha de lectura: 10/10/2013

2.4.6 Simulación y control de instalaciones termosolares de captadores cilindroparábolicos en aplicaciones industriales y de refrigeración

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
- Unidad de "Concentración Solar". PSA-CIEMAT

Contactos:

M. Pérez (mperez@ual.es)
L. Valenzuela (loreto.valenzuela@psa.es).

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2010. (P10-RNM-5927)

Duración prevista:

Marzo 2011 – Marzo 2014. Prorrogado 2015.

Situación:

En curso

Resumen:

Desarrollos recientes por parte de diversos fabricantes y organismos de investigación de concentradores cilindroparábolicos de baja apertura, con y sin cubierta transparente, está permitiendo contar con dispositivos de conversión termosolar idóneos para aplicaciones de tipo industrial y refrigeración por absorción por doble efecto, caracterizadas por un rango térmico comprendido entre los 100 y 250°C. A pesar de ello, la multiplicidad de esquemas de acoplamiento generador-demanda existentes derivada de la propia diversidad de los procesos industriales a considerar así como el carácter netamente no estacionario de los mismos exige un esfuerzo de investigación y desarrollo que permita a) establecer un marco de simulación que proporcione un dimensionado correcto de las instalaciones y b) la elaboración de algoritmos de control que optimicen la operación rutinaria de las mismas. De forma paralela al desarrollo de las herramientas anteriores, es necesaria la realización de un análisis de potencialidad de mercado basado en la valoración de la demanda térmica industrial regional y la optimización técnico-económica de casos de estudio específicos que permitan la generación de proyectos de ejecución abordables. Este proyecto deriva del proyecto CAPSOL (Desarrollo de un captador solar cilindroparábolico para aplicaciones térmicas hasta 250°C) del Plan Nacional de Investigación. Programa de Investigación Aplicada Colaborativa (CIT-440000-2008-5) coordinado por el CIEMAT con la participación de la Universidad de Almería y Composites y Sol S.L y del proyecto de investigación "Simulación de plantas termosolares de captadores cilindroparábolicos para generación de calor de proceso" realizado en colaboración de la Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal.

Objetivos:

1. Elaboración de pautas de demanda térmica en instalaciones industriales y de refrigeración orientadas a la simulación dinámica de proyectos de integración de campos de captadores cilindroparábolicos.
2. Elaboración de una base de datos de elementos (captadores solares, sistemas de almacenamiento, controladores, bombas,...) y esquemas de acoplamiento de sub-sistemas
3. Desarrollo y validación de los modelos matemáticos de los procesos de intercambio de masa y energía e integración de los mismos en una plataforma computacional específica.

4. Realización de estudios de optimización de instalaciones y procesos a partir de la explotación de plataforma computacional desarrollada.
5. Integración de los resultados del proyecto en una guía de que facilite a ingenieros y diseñadores el acceso a opciones simplificadas de integración campo solar/proceso.
6. Diseño de recursos divulgativos para su difusión entre los potenciales usuarios incluyendo aspectos medioambientales y tecnoeconómicos

Resultados durante 2013:

A lo largo de esta anualidad, las actividades y logros del proyecto se han centrado en los dos aspectos: a) la particularización de los análisis de usos potenciales a la agroindustria y b) en la incorporación a los modelos en desarrollo y utilizados para la obtención de diseños óptimos de plantas y de estimaciones funcionales y económicas a largo plazo de la capacidad de uso de la técnica de generación directa de vapor (GDV).

En cuanto al primer aspecto, se ha iniciado un acercamiento diferenciado a las demandas térmicas tanto en calefacción como en refrigeración de la industria auxiliar de la agricultura. La justificación del interés en este sector se basa en la proximidad geográfica, su alta concentración y repercusión económica y los elevados flujos energéticos implicados. Se han identificado las siguientes áreas de interés: fabricación de plásticos laminados y conducciones para invernaderos, acondicionamiento climático, procesos de postcosecha, manipulación y conservación y fabricación de envases celulosicos. Sobre la base de análisis sintéticos de carga y temperatura de proceso, tanto en base diaria como mensual, se han abordado diseños específicos de plantas solares de aportación térmica. Como ejemplo, se incluye la valoración obtenida para la demanda correspondiente a refrigeración en cámaras de conservación post-cosecha de centrales hortofrutícolas.

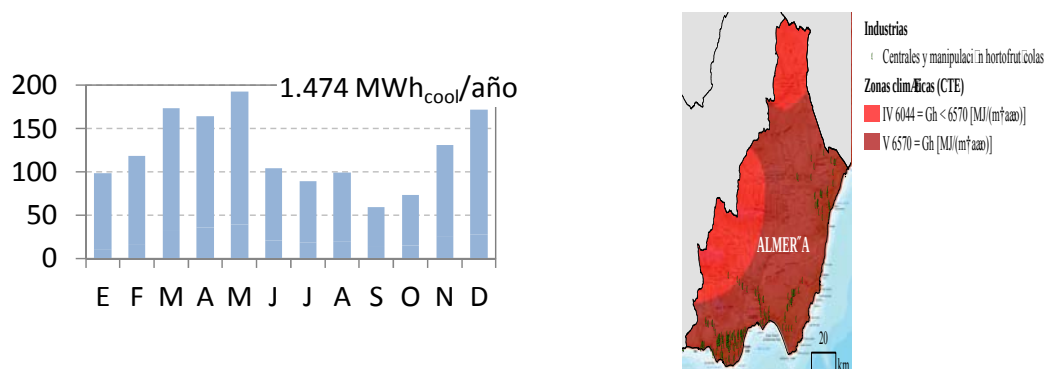


Fig. 2.10. Perfil mensual de carga térmica de un caso de estudio de demanda de refrigeración en cámaras frigoríficas en centrales hortofrutícolas en la provincia de Almería (der.)

Para este ejemplo, usando como diseño de partida el esquema de instalación de refrigeración solar incluido en la figura 2.11, se pueden obtener los resultados de la figura 2.12 en la que se muestra la fracción solar anual calculada para diferentes tamaños del campo de captadores y almacenamiento. Sin almacenamiento ($V_{sto}/A_c=0$ m³/m²), f presenta un máximo de 0,40 variando muy poco para tamaños de campo $A_{spec}>2$ m²/kW_{cool}. Con la ayuda de un tanque de almacenamiento f aumenta hasta 0,94, lo que indica que casi toda la energía necesaria en este proceso a lo largo del año puede provenir de la

energía solar térmica. Para un tamaño de almacenamiento de $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$, se obtienen fracciones solares de 0,55 y 0,66, respectivamente con un tamaño de campo de $5 \text{ m}^2/\text{kW}_{\text{cool}}$.

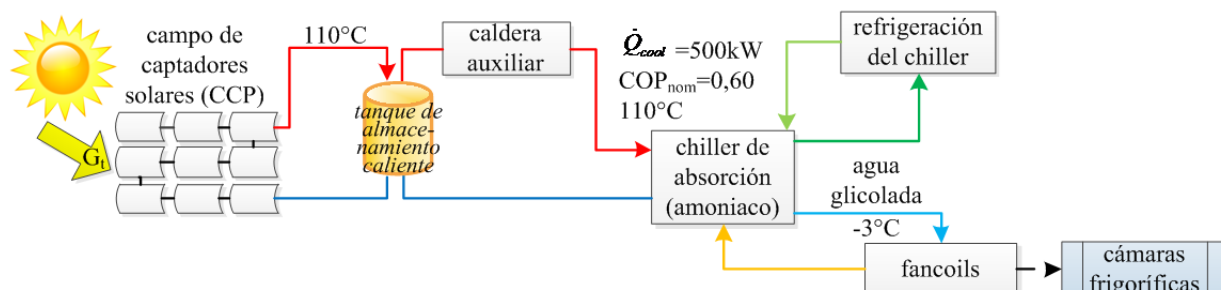


Fig. 2.11. Esquema de una instalación de refrigeración solar tipo para cámaras frigoríficas en centrales hortofrutícolas.

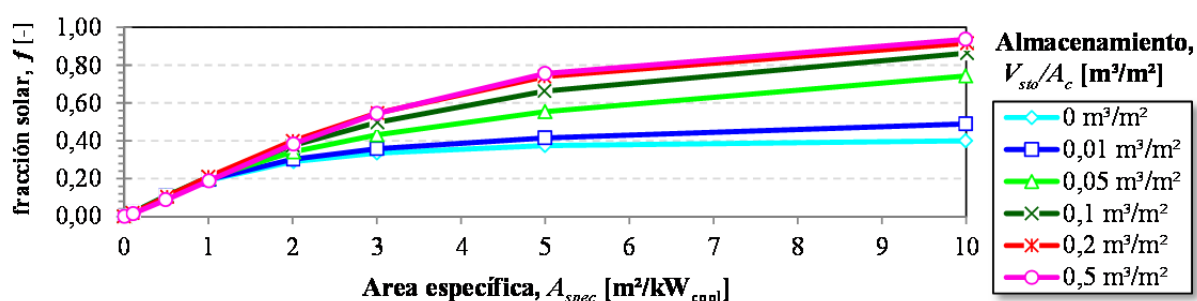


Fig. 2.12. Comparación de la fracción solar anual para diferentes tamaños del campo de captadores y de almacenamiento de una instalación de refrigeración solar tipo para cámaras frigoríficas en centrales hortofrutícolas.

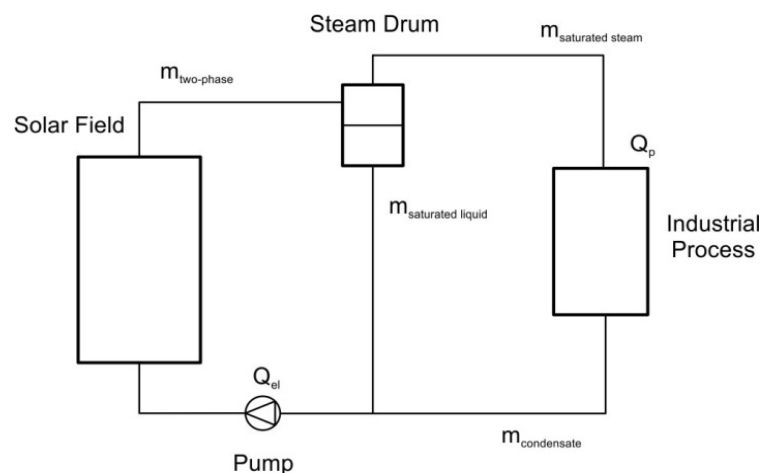


Fig. 2.13. Esquema de instalación GDV integrada en proceso industrial

En el ámbito del modelado, como se ha dicho, el avance principal ha consistido en la incorporación al conjunto de modelos en desarrollo de un módulo orientado a la simulación de instalaciones de captadores solares cilíndroparabólicos con capacidad de generación directa de vapor (GDV) válido para el estudio de esquemas de integración en procesos industriales como el representado en la figura 2.13. La GDV en este ámbito está reconocida como la técnica de integración más idónea ya que

presenta los mayores niveles de eficiencia y operatividad al tratarse el propio vapor del medio de transferencia más extendido en los circuitos de distribución térmica industriales.

Por contra, a pesar de este reconocimiento, a efectos de diseño e implantación de instalaciones no puede hablarse de la GDV de una técnica extendida comercialmente por las dificultades intrínsecas en cuanto a controlabilidad de la presencia de flujo bifásico en los absorbedores de los lazos de captadores cilindroparábolicos. El modelado previo resulta indispensable para un diseño fiable y seguro de los sistemas. Este trabajo ha realizado una aportación específica en este ámbito, suplementando los resultados propios asociados al modelo con un análisis de sensibilidad de sus salidas a las posibles incertidumbres de 14 parámetros de entrada de tipo físico y económico (especificaciones de captadores, bombas y conducciones, variables de entrada meteorológicas y tendencias en precios de la energía primaria y costes de fabricación de elementos). Al tratarse de un modelo global de plantas, las salidas analizadas han sido el tiempo de retorno, el coste nivelizado de la energía y el ahorro de ciclo de vida.

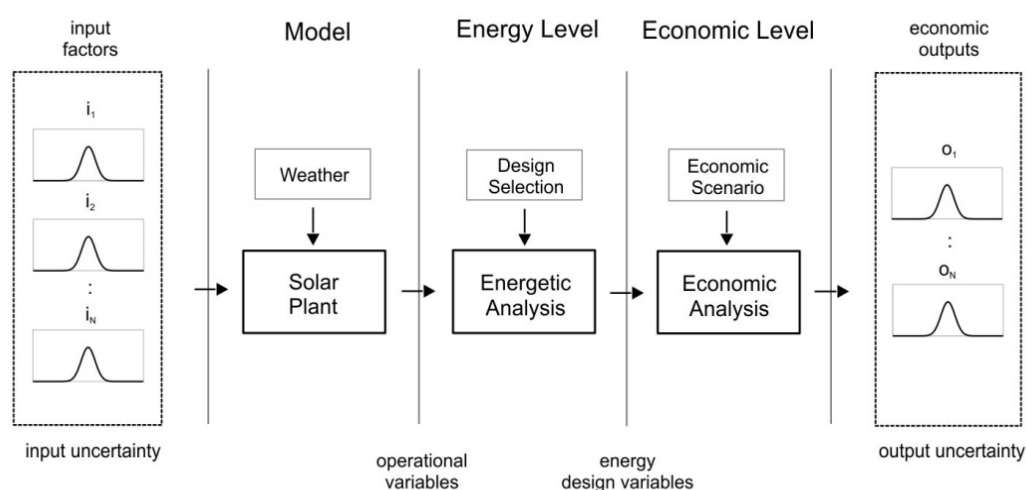


Fig. 2.14. Representación de propagación de incertidumbres

El resultado más importante obtenido de este trabajo es que a pesar de la alta incertidumbre introducida por la consideración de flujo bifásico en las ecuaciones de balance correspondientes al análisis a bajo nivel, la propagación y el impacto de la misma a nivel de sistema, tanto desde el punto de vista de energía como económico, es ampliamente mitigada por factores propios del análisis a alto nivel, permitiendo abordar el diseño de plantas en términos equivalentes a los de las plantas actuales de fluido líquido. Los resultados concluyen que el precio nivelizado de la energía en estas plantas GDV de aplicaciones industriales es el indicador global más robusto con un coeficiente de variación del 5.6% seguido del tiempo de retorno con un 16.7%. Las entradas con mayor repercusión en la incertidumbre del precio nivelizado de la energía son las pérdidas del captador y la tasa de inflación con unos TSI de 0.58 and 0.51 respectivamente.

Abstract:

Recent developments by manufacturers and research organizations of low aperture parabolic trough concentrators, with and without transparent cover, are allowing to have solar conversion devices ideal for applications involving industrial process heat and absorption refrigeration dual effect, characterized by temperature range between 100 and 250 °C. However, the multiple generator-demand coupling existing schemes derived from the diversity of industrial processes and the purely non-stationary nature of the processes require a research and development effort to enable a) to establish a framework simulation to provide a correct dimensioning of the facilities and b) the development of control algorithms that optimize the routine operation thereof. Parallel to the development of these tools, the project addresses an analysis of market potential based on the assessment of regional industrial heat demand and the technical-economic optimization of specific case studies.

Publicaciones:Revistas

- Cabrera, F.J., Fernández-García, A., Silva, R.M.P., Pérez-García, M. **Use of parabolic trough solar collectors for solar refrigeration and air-conditioning applications.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013, 20,103-18. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.081
- Silva, R., Pérez, M., Fernández-García, A. **Modeling and co-simulation of a parabolic trough solar plant for industrial process heat.** Applied Energy 2013, 106, 287-300. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.01.069
- Silva, R., Pérez, M., Berenguel, M., Valenzuela, L., Zarza, E. **Uncertainty and Global Sensitivity Analysis in the Design of Parabolic-Trough Direct Steam Generation Plants for Process Heat Applications.** Applied Energy 2014, 121, 233-244. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.01.095
- Silva, R., Berenguel, M., Pérez, M., Fernández-García, A. **Thermo-economic design optimization of parabolic trough solar plants for industrial process heat applications with memetic algorithms.** Applied Energy 2013, 113, 603-614. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.08.017
- Silva, R., Cabrera F.J., Pérez-García M. **Process Heat Generation with Parabolic Trough Collectors for a Vegetables Preservation Industry in Southern Spain.** Energy Procedia 2014, 48, 1210-1216. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.137

Congresos

- Cabrera-Corral, F.J.; Silva-Parreira, R., Perez-Garcia, M., Fernández-García, A. **Potencial de uso de captadores solares cilindroparabólicos para refrigeración en centrales hortofrutícolas en el sur-este de España.** VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid. Agosto 2013.
- Silva, R., Cabrera, F.J., Pérez-García, M. **Process Heat Generation with Parabolic Trough Collectors for a Vegetables Preservation Industry in Southern Spain.** International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. Friburgo. Septiembre 2013.

Tesis Doctorales:

- **Optimización de herramientas para el diseño y evaluación de captadores solares cilindroparabólicos para el suministro de energía térmica a temperaturas inferiores a 250°C. Aplicación práctica al prototipo CAPSOL.**
 Doctorando: Aránzazu Fernández García
 Directores: Manuel Pérez García/Esther Rojas/Francisco Manzano
 Fecha de lectura: 24/04/2013

2.4.7 Modelado, simulación, control y optimización de fotobiorreactores-MACROBIO

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
- Grupo de Inv. "Biotecnología de Algas Marinas". Universidad de Almería (BIO-173)
- Grupo de Informática y Automática de la UNED

Contactos:

J.L. Guzmán (joseluis.guzman@ual.es)
F.G. Acién (facien@ual.es)
José Sánchez (jsanchez@dia.uned.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (DPI2011-27818-C02)

Duración prevista:

Enero 2011 – Diciembre 2014.

Situación:

En curso

Resumen

El proyecto aborda el análisis, estudio y aplicaciones de las estrategias de modelado, control y optimización en el marco del control predictivo basado en modelos (MPC) y el control basado en eventos (EBC) para lograr una producción eficiente de biomasa de microalgas en fotobiorreactores a gran escala. Este problema de control está compuesto por diferentes niveles ya que dependiendo del uso final de la biomasa diferentes objetivos de control tendrán que cumplirse durante el proceso de producción. Por lo tanto, la existencia de diferentes objetivos (productividad, objetivos económicos, aspectos ambientales y de calidad , etc.) generan un problema de control jerárquico multi- escala que se abordará mediante el uso de diferentes técnicas de control MPC incluyendo multi- escala no lineal y el muestreo basado en eventos. Asimismo, será necesario el desarrollo de modelos, estimadores y predictores de las variables de concentración de biomasa, las variables ambientales y del resto de las variables de proceso asociadas. En la actualidad, hay muy pocas aplicaciones a escala industrial de los procesos tratados en este proyecto, siendo por lo tanto de gran interés.

Abstract:

The project deals with the analysis, study and applications of modelling, control and optimization strategies in the framework of model-based predictive control (MPC) and event-based control (EBC) to achieve efficient microalgae biomass production in large-scale photobiorreactors. This control problem is composed of different control levels because depending of the final use of the resulting biomass different control objectives will have to be fulfilled during the production process. Therefore the existence of different objectives (productivity, economic issues, environmental and quality aspects, etc.) generate a hierarchical multi-scale control problem that will be addressed using different control techniques including non-linear multi-scale MPC and event-based sampling and control approaches. Also, it will be necessary to develop models, estimators and predictors of the biomass concentration variables, the environmental variables and the rest of associated process variables. At present, there are very few applications at industrial scale of the processes treated in this project, thus being of great interest

Objetivos:

1. Desarrollo y propuesta de estrategias de modelado e identificación para procesos basados en la producción de biomasa de microalgas. Se obtendrá modelos detallados y complejos para los requisitos de los niveles superiores y modelos simplificados para los diseños de control.

2. Desarrollo de estrategias de control predictivo y metodologías basadas en eventos para la producción óptima de biomasa en fotobiorreactores de gran tamaño mediante una adecuada reducción de costes y de la contaminación medioambiental.
3. Implementación y validación de las estrategias desarrolladas en diferentes plantas experimentales con clara relevancia industrial. Para este objetivo se utilizarán distintos tipos de fotobiorreactores.

Resultados durante 2013

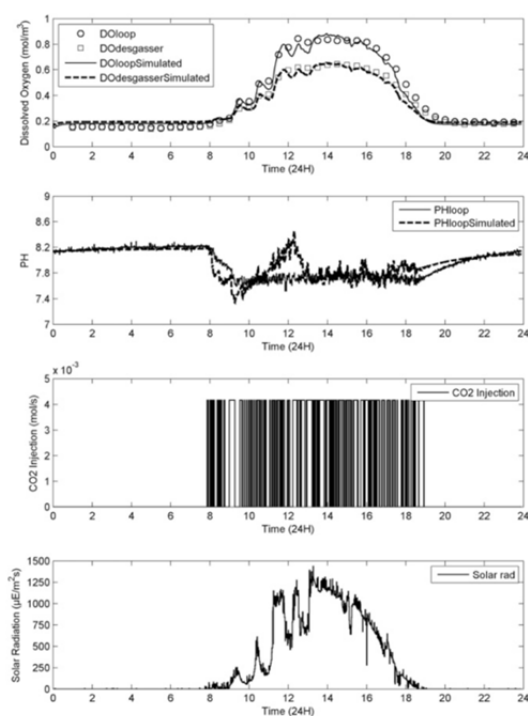
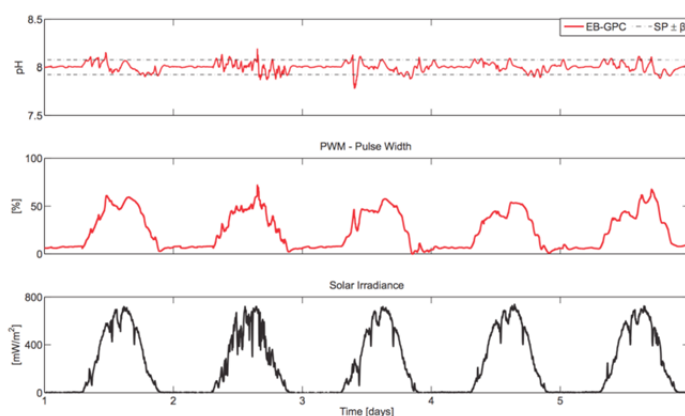


Fig. 2.15. Ejemplo representativo sobre los resultados del modelo realizado basado en primeros principios



		Day				
		1	2	3	4	5
EB-GPC	IAE	1725	1555	1666	1341	1579
	SLT[min]	767	767	767	767	767
	Event	214	280	269	228	258
	IT[min]	319.6	291.1	296.4	284.3	307.8
	CO ₂ [g/day]	1177	1072	1091	1047	1134
	Lost CO ₂ [g/day]	235	216	213	208	227
	RO ₂ [kg _(O₂) /m ³ day]	0.8464	0.9953	0.9317	0.7526	0.7459
	P _b [kg _(O₂) /m ³ day]	0.6196	0.7445	0.6783	0.5532	0.5378

Fig. 2.16. Resultados experimentales de control basado en eventos. Productividad equivalente a control basado en tiempo con ahorros de pérdidas de CO₂ del 30%

Publicaciones

Revistas

- Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Hägglund, T. **Optimal feedforward compensators for systems with right-half plane zeros.** Journal of Process Control 2014, 24, 368-374. DOI: 10.1016/j.jprocont.2014.02.014
- Pawlowski, A., Cervin, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Generalized predictive control with actuator deadband for event-based approaches.** IEEE Transactions on Industrial Informatics 2014, 10(1), 523-537. DOI: 10.1109/TII.2013.2270570
- Guzmán, J.L., Dormido, S., Berenguel, M. **Interactivity in Education: an experience in the Automatic Control Field.** Computer applications in Engineering Education 2013, 21(2), 360-371. DOI: 10.1002/cae.20480
- Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Hägglund, T. **Generalized feedforward tuning rules for non-realizable delay inversion.** Journal of Process Control 2013, 23, 1241-1250. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.08.001

- Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Fernández, I., Acien F.G., Normey J.E. **Event-Based Predictive Control of pH in Tubular Photobioreactors**. Computers and Chemical Engineering 2014, 65, 28-39. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2014.03.001
- Rodríguez, Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **A robust design methodology for simultaneous feedforward and feedback tuning**. International Journal of Robust and Nonlinear Control 2013.
- Costache, T.A., Acien, F.G., Morales, M.M., Fernández-Sevilla, J.M., Stamatini, I., Molina, E. **Comprehensive model of microalgae photosynthesis rate as a function of culture conditions in photobioreactors**. Applied Microbiology and Biotechnology 2013, 97, 7627-7637. DOI: 10.1007/s00253-013-5035-2
- Acien, F.G., Fernández-Sevilla, J.M., Molina, E. **Photobioreactors for the production of microalgae**. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2013, 12(2), 131-151. DOI: 10.1007/s11157-012-9307-6
- Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L. **Unified PID Tuning Approach for Stable, Integrative, and Unstable Dead-Time Processes**. Industrial & Engineering Chemistry Research 2013, 52, 16811-16819. DOI: 10.1021/ie401722y
- Pasamontes, M., Álvarez, J.D., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Camacho, E.F. **Hybrid modeling of a solar-thermal heating facility**. Solar Energy 2013, 97, 577-590. DOI: 10.1021/ie401722y
- Beschi, M., Berenguel, M., Visioli, A., Guzmán, J.L., Yebra, L. **Implementation of feedback linearization GPC control for a solar furnace**. Journal of Process Control 2013, 23(10), 1545-1554. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.02.002
- González, R., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Robust constrained economic receding horizon control applied to the two time-scale dynamics problem of a greenhouse**. Optimal Control Applications and Methods, Aceptado. DOI: 10.1002/oca.2080.
- Moreno, J.C., Guzmán, J.L., Normey-Rico, J.E., Baños, A., Berenguel, M. **A combined FSP and reset control approach to improve the set-point tracking task of dead-time processes**. Control Engineering Practice 2013, 21(4), 351-359. DOI: 10.1016/j.conengprac.2012.12.002
- Americano da Costa, M.V., Pasamontes, M., Normey-Rico, J.E., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Viability and application of ethanol production coupled with solar cooling**. Applied Energy 2013, 102, 501-509. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.07.046
- Scherer, H.F., Pasamontes, M., Guzmán, J.L., Álvarez, J.D., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E. **Efficient building energy management using distributed model predictive control**. Journal of Process Control. Aceptado. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.09.024

Congresos

- Sánchez, J.A., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Control de crecimiento de cultivos bajo invernadero optimizando criterios de sostenibilidad, económicos y de eficiencia energética**. XI Simposio CEA de Ingeniería de Control, Valencia, Abril 2013.
- Sánchez, J., Guzmán, J.L. **Modelado, simulación, control y optimización de fotobiorreactores**. XI Simposio CEA de Ingeniería de Control, Valencia, Abril 2013.
- Scherer, H.F., Pasamontes, M., Guzmán, J.L., Álvarez, J.D., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E. **Distributed Model Predictive Control for Energy Distribution**. European Control Conference, Zurich (Suiza), Julio de 2013.
- Sánchez, J., Dormido, R., Duro, N., Fernández, I., Dormido, S. **A Virtual Laboratory for Tubular Photobioreactors for Outdoor Microalgae Culture**. 10th IFAC Symposium on Advances in Control Education Agosto 2013. Sheffield, UK, 2013.
- Sánchez, J.A., Pérez, N., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., López, J.C. **Sistema de ayuda a la toma de decisiones para el control del crecimiento de cultivos de pimiento bajo invernadero basado en condiciones climáticas**. VII Congreso Ibérico de AgroIngeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid, Agosto 2013.

- *Fernández, I., Andrade, G.A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Pagano, D.J.* **Modelo NARMAX de pH en un fotobiorreactor tubular de microalgas.** XXXIV Jornadas de Automática, Terrassa, Septiembre 2013.
- *Pérez-Castro, A., Sánchez, J., Guzmán, J.L.* **Estrategia para la corrección de modelos no lineales variantes en el tiempo mediante estimación de parámetros: Aplicación al control predictivo y a la diagnosis de sistemas.** XXXIV Jornadas de Automática, Terrassa, Septiembre 2013.
- *Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Hägglund, T., Normey-Rico, J.E.* **Diseño de controladores por adelanto para inversión de retardo no realizable.** XXXIV Jornadas de Automática, Terrassa, Septiembre 2013.
- *Andrade, G. A., Fernández, I., Pagano, D.J., Guzmán, J.L., Berenguel, M.* **Modelagem, Simulação e Controle de Fotobiorreatores Industriais para Produção de Microalgas.** IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas e IV Workshop da Redealgas, Florianópolis (Brasil), Septiembre 2013.
- *Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Fernández, I., Ación, F.G., Normey-Rico, J.E.* **Control de pH en fotobiorreactores utilizando un GPC basado en eventos.** XI Simpósio Brasileiro de Automação – SBAI e XI Conferencia Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações - DINCON. Fortaleza, Brasil, Octubre 2013.

2.4.8 Transferencia y Actividades Complementarias

1. Convenio con la Universidad de Brescia:

El convenio incluye co-tutela de Tesis, intercambio de alumnos Erasmus, doble título en Mecatrónica para la automatización industrial, etc.

Fruto del convenio el Prof. Manuel Berenguel ha co-dirigido, junto al Prof. Antonio Visioli, la tesis de Manuel Beschi, fruto de la cual se han realizado las siguientes publicaciones en 2013:

- Beschi, M., M. Berenguel, A. Visioli, J.L. Guzmán, L.J. Yebra. Implementation of feedback linearization GPC control for a solar furnace. Journal of Process control. 2013, aceptado para su publicación. 10.1016/j.jprocont.2013.02.002. JCR index 1.805, 15/58 Q2 (Automation & Control Systems), 41/133 Q2 (Engineering, Chemical). Scopus cites: 0 (12/09/2013).
- Beschi, M., M. Berenguel, A. Visioli, L.J. Yebra. Constrained control strategies for disturbance rejection in solar furnaces. Control Engineering Practice 21, 1410-1421, 2013. JCR index 1.669, 19/58 Q2 (Automation & Control Systems), 74/242 Q2 (Engineering, Electrical & Electronic). Scopus cites: 0 (12/09/2013).

2. Convenio UAL-CIEMAT

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica" de la Universidad de Almería
- Grupo de Automática de la Plataforma Solar de Almería.

Contactos:

- Manuel Berenguel (beren@ual.es)
- Lidia Roca (lidia.roca@psa.es)

Antecedentes:

El grupo de investigación "Automática, Robótica y Mecatrónica" de la Universidad de Almería junto con CIEMAT han colaborado en la línea de investigación de I+D de Automática en plantas termosolares en el marco de diversos proyectos nacionales: Proyecto Nacional - DPI2004-07444-C04-, Proyecto Nacional - DPI2007-66718-C04-04, Proyecto Nacional - 04DPI2010-21589-C05-02.

Objetivos:

Contribuir al desarrollo y aplicación de actividades relacionadas con la investigación de modelado y control de procesos termosolares, empleando para ello las instalaciones de La Plataforma Solar de Almería. Como objetivos específicos se han propuesto:

- Estudio de los procesos y subsistemas involucrados en plantas solares híbridas de la Plataforma Solar de Almería.
- Desarrollo de modelos dinámicos de plantas solares híbridas y validación de los resultados obtenidos.
- Desarrollo de estrategias de control para plantas solares híbridas.

3. Colaboración con la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación UIE3 del CIEMAT

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica" de la Universidad de Almería
- Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación UIE3 (CIEMAT)

Contactos:

- Francisco Rodríguez Díaz (frodri@ual.es)
- María José Jiménez (mjose.jimenez@psa.es)

Antecedentes:

La colaboración establecida a partir del proyecto ARFRISOL, ya concluido, ha abierto nuevas opciones de desarrollo de actividades conjuntas de interés común en el ámbito de la caracterización dinámica de las propiedades térmicas de materiales y elementos.

Objetivos:

- Apoyo y colaboración en la organización actividades de formación especializada. De forma específica, en 2013 ha tenido lugar segunda edición de la "DYNASTEE Summer School" sobre "Dynamic Calculation Methods for Building Energy Assessment" organizada por DYNASTEE-INIVE en colaboración con CIEMAT, EC-JRC-IET, DTU-IMM (Dinamarca) y ESRU (Glasgow, UK). Fue acogida por la Plataforma Solar de Almería y CIESOL. Asistieron 36 alumnos de 10 países Europeos, China, India y Canadá. 9-13 Septiembre 2013.
- Realización de tesis doctorales. En la actualidad está en marcha el trabajo titulado "Análisis y evaluación energética de edificios a partir de datos experimentales medidos en condiciones reales de uso y utilizando métodos de análisis de series temporales" que cuenta con una beca FPI. Febrero 2011 a Enero 2015.
- Colaboraciones en la preparación de propuestas en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación y en los diferentes subprogramas específicos del H2020.
- Participación en "COST Action" solicitada, pendiente de evaluación. Título "Towards setting up a Network of Excellence on Reliable Building Energy Performance Assessment based on Full Scale Dynamic Measurement, Analysis and Simulation". Coordinador: CIEMAT. 11 países participantes y 24 centros. Convocatoria COST (Cooperación Europea en Investigación Científica y Técnica). Diario Oficial de la Unión Europea 10-1-2014.

2.5 ACTIVIDADES EN EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR

La Unidad de Recurso Solar está compuesta por los miembros del grupo "Recursos Energético Solares y Climatología (TEP165)". El grupo TEP 165 es un grupo estable desde su creación en el año 1997 en el seno del Plan Andaluz de Investigación de la Junta de Andalucía, siendo su responsable desde su fundación Francisco Javier Batlles Garrido. Nuestro grupo ha sido considerado en numerosas ocasiones como Grupo de Excelencia dentro del Plan Andaluz de Investigación. En la actualidad está formado 9 profesores todos ellos doctores, 7 pertenecientes al área de Física Aplicada, 1 al área de Máquinas y Motores Térmico y 1 al área de Lenguajes y Sistemas Informáticos y tres becarios de investigación también doctores.

2.5.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Evaluación y predicción del recurso solar.
- Teledetección.
- Cámaras de cielo.
- Optimización de cámaras de cielos

Main research lines:

- *Modeling and control of thermosolar plants.*
- *Evaluation and forecast of solar resource.*
- *Teledetection.*
- *Sky camera.*
- *Optimization of the sky cameras*

2.5.2 Investigadores principales del grupo

Francisco Javier Batlles Garrido

Profesor Titular de Universidad y acreditado al Cuerpo de Catedráticos de Universidad por el Departamento de Química y Física de la Universidad de Almería. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada (1986) y Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada. Director desde su fundación en 1998 del Grupo de Investigación "Recursos Energético Solares y Climatología" del Plan Andaluz de Investigación. Miembro de la Comisión de Evaluación Científica y Tecnológica de Andalucía, perteneciente al Plan Andaluz de Investigación, del 2002 al 2005. Ha desarrollado su labor científica siempre en el seno del Grupo de Investigación en temas relacionados con la evaluación y predicción del recurso solar y modelado y diseño de instalaciones solares para calefacción y refrigeración de edificios. Ha dirigido 10 contratos de investigación con diferentes instituciones públicas y privadas, entre las que cabe destacar, GEMASOLAR 2006, S.L., Torresol Energy O & M, S.A, Millenio Solar Desarrollo de Proyectos, Agencia Aeroespacial Alemana. Coautor de más de 60 artículos en revistas internacionales con impacto, más de 150 publicaciones en congresos tanto nacionales como internacionales así como un libro nacional. Ha dirigido 7 tesis doctorales.

Francisco Javier Batlles Garrido

He received his physics degree and the Ph.D. from the University of Granada, Spain, in 1986 and 1995, respectively. He is a Professor in the Department of Chemistry and Physics at the University of Almería, Almería, Spain. He is the head of the research group Solar Resource Assesment and Climatology at the

University of Almería. His research interests include evaluation and forecast of the solar resource, design and optimization of the solar thermal cooling and heating systems. He has authored and coauthored over 60 articles in international journals, about 150 conference papers, both national and international and 7 doctoral theses directed. Prof. Batlles has been the Principal Researcher of 10 research projects funded by the Ministry of Science and Innovation and contracts with different companies such as GEMASOLAR 2006, S.L., Torresol Energy O & M, S.A, Solar Millennium, German Aerospace Centre

2.5.3 Miembros del grupo

- Francisco Javier Batlles Garrido (UAL)



- Mercedes Martínez Durbán (UAL)



- Joaquín Alonso Montesinos (UAL)



- Juan Luis Bosch Saldaña (UC San Diego)



2.5.4 Predicción a corto plazo de la nubosidad utilizando técnicas de teledetección y de tratamiento de imágenes

Participantes:

- Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)
- Física de la Atmósfera. Universidad de Jaén.

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2011. (CGL2011-30377-C02-02)

Duración prevista:

Enero 2012 - Diciembre 2014

Situación:

En curso.

Resumen:

La creciente demanda de electricidad, junto con el agotamiento de los combustibles fósiles y las consecuencias de los gases de efecto invernadero han fomentado el desarrollo de fuentes renovables baratas y fiables de energía eléctrica a nivel mundial. A este respecto, la energía solar es probablemente la única solución sostenible que realmente puede responder a las expectativas energéticas a largo plazo. La producción eléctrica a partir de energía solar ha mejorado enormemente en los últimos años, permitiéndole una significativa expansión, gracias al aumento de la eficiencia de la conversión energética y el abaratamiento de los costes de producción e instalación. España es un referente en aplicaciones de la energía solar, pues es uno de los países líderes en producción solar eléctrica a nivel mundial.

La gestión de la operación de las plantas solares y la integración de su producción en las redes de distribución eléctrica involucran desafíos tecnológicos que deben ser resueltos. El problema se debe, principalmente, al carácter intermitente y no determinista del recurso solar. En particular, estas fluctuaciones solares pueden dar lugar a estrés térmico en los espejos de concentración empleados en las centrales termosolares o a inestabilidades en la red eléctrica debido a los transitorios causados por el paso de las nubes, por ejemplo. Así, uno de los requerimientos más importantes en las centrales termosolares es ser capaces de predecir cuándo una nube va a cubrir el campo de espejos y cuánta radiación solar va a ser atenuada. Por lo tanto, estas centrales necesitan predicciones de radiación directa (DNI), que es el recurso solar en que ellas están interesadas, para mejorar los sistemas de gestión de la planta y prevenir daños en las instalaciones. Esta predicción, conocida con el término inglés nowcasting, se refiere a las primeras 1-2 horas. Además, a medida que crece el número de plantas renovables que están integradas en la red general de distribución eléctrica, la gestión de la red y la distribución de la electricidad se hace más y más compleja y difícil debido, precisamente, a la intermitencia del recurso, que pone así en riesgo la estabilidad del sistema. Este hecho limita fuertemente la cantidad de centrales renovables que el sistema es capaz de gestionar. Para incrementar este número, sin incrementar el riesgo de apagones o sobretensiones, la predicción del recurso con, al menos 24 horas de antelación, es igualmente necesaria. Así pues, el uso y desarrollo de predicciones del recurso solar se antoja como una pieza muy importante para alcanzar los objetivos planteados por los estados miembros de la Unión Europea en materia de

energías renovables para el año 2020. Más aún, la Agencia Internacional de la Energía estableció que la "predicción fiable de radiación solar" es el tema de investigación de mayor interés científico en el área del recurso solar. Tanto los satélites, para el nowcasting, como los modelos numéricos de predicción meteorológica (MNPM), para predicción a más largo plazo, son actualmente las herramientas más importantes para llevar a cabo esta tarea. Así como la predicción del recurso eólico ya ha alcanzado cierto nivel de madurez, la radiación solar aún necesita de un importante desarrollo en esta materia.

Objetivos:

El objetivo fundamental de este proyecto es predecir la radiación nubosidad sobre una determinada localidad en un corto período de tiempo, 1, 2 o tres horas. Para ello se utilizarán imágenes de última generación del satélite METEOSAT e imágenes de una cámara de cielo.

Abstract:

Increasing demand for electricity, coupled with a declining fossil fuel base and the consequences of greenhouse gas emissions, have stimulated efforts worldwide for developing cheap and reliable supplies of electricity from renewable sources. Solar energy is probably the only long-term supply-side energy solution that is both large enough and acceptable enough to sustain these planet's long term requirements. Power production using solar energy has improved globally and experienced a significant expansion by, primarily, reducing costs and achieving greater conversion efficiency. Spain can be regarded as a reference sit for solar energy applications, since it is one of the world leading countries in electricity production from solar origin sources.

A major challenge for the future will be the solar plants operation management and the integration of the large scale solar yields into existing energy supply structures. The problem arises from the fluctuating character of the solar resource, as compared to conventionally generated electricity, and its dependence on non-deterministic weather patterns. This presents challenges regarding a wide range of aspects of the operation and yield integration of the plants in the electric grid. Particularly, it may lead to harmful thermal stress into the STPP concentrating mirrors or instabilities in the electric network due to transients originated by the clouds movement. As a result, one of the main problems in the operation of STPP is to predict when a cloud will cover the field and how much solar radiation will be attenuated.

Therefore, STPPs need forecasts of direct normal solar irradiance (DNI) –the resource they are interested in— for improved operation management and to prevent damages in the facilities. This forecasting, known as nowcasting, has to be provided at a time horizon of 1-2 hours ahead. In addition, as the number of renewable energy plants integrated in the electric grid increases, the management and distribution of the energy in the whole grid becomes more and more complex because of the intermittent availability of solar resource which puts at risk the stability of the supply. This strongly limits the rate of solar facilities that the system is able to hold. In order to maximize their penetration into the distribution grid without outages and congestion, forecasting of solar radiation at least 24 hours ahead is vital. Therefore, development of forecasts of the solar resources will be certainly of fundamental importance in order to reach the objectives stated by the EU's member states for renewable energies penetration into the electricity grid by 2020. Particularly, the International Energy Agency (IEA) establishes that "precise local solar forecasts" is the main topic of research interest in the area of the solar energy resources. Both satellite (nowcasting) and NWP (forecasting) are referenced as the most important tools regarding this area of research. Just as wind forecasting has reached certain level of maturity, solar radiation still need profuse research efforts.

Publicaciones:

Revistas

- Escrig, H., Batlles, F.J., Alonso, J., Baena, F.M., Bosch, J.L., Salbidegoitia, I.B., Burgaleta, J.I. **Cloud detection, classification and motion estimation using geostationary satellite imagery for cloud cover forecast.** Energy 2013, 55 (15), 853-859. DOI: 10.1016/j.energy.2013.01.054
- Alonso, J., Batlles, F.J., Villarroel, C., Ayala, R., Burgaleta, J.I. **Determination of the sun area in sky camera images using radiometric data.** Energy Conversion and Management 2014, 78, 24-31. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.10.050
- Alonso, J., Batlles, F.J., López, G., Ternero, A. **Sky camera imagery processing based on a sky classification using radiometric data.** Energy 2014. DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.035
- Alonso, J., Ternero, A., Batlles, F.J., López, G., Rodríguez, J., Burgaleta, J.I. **Prediction of cloudiness in short time periods using techniques of remote sensing and image processing.** Energy Procedia 2014. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.03.241

Congresos:

- Alonso, J., Batlles, F.J. **Detección de nubes en imágenes de cámara de cielo, basada en una clasificación de cielo a partir de parámetros radiométricos.** Comunicación oral. XXXIV Reunión bienal de la Real Sociedad Española de Física, Valencia, Julio 2013.
- Alonso, J., Ternero, A., Batlles, F.J., López, G., Rodríguez, J., Burgaleta, J.I. **Prediction of cloudiness in short time periods using techniques of remote sensing and image processing.** Comunicación oral. SolarPACES, Las Vegas (Nevada, EE.UU.), Septiembre 2013.
- Batlles, F.J., Alonso, J., López, G. **Cloud cover forecasting from METEOSAT data.** Poster. ISES Solar World Congress, Cancún (México), Noviembre 2013

2.5.5 Optimización para la industrialización de la predicción de nubes en campos solares

Participantes:

- Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)
- Torresol Energy O&M, S.L.

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

Torresol Energy O&M, S.L.

Duración prevista:

Septiembre 2012 - Diciembre 2014

Situación:

En curso

Resumen:

Las plantas solares térmicas de concentración, más conocidas como termosolares, son una de las tecnologías renovables con gran futuro debido a su ventaja de gestión de la producción frente a las demás renovables gracias al sistema de almacenamiento.

El sistema de almacenamiento permite almacenar la energía en forma térmica en sales fundidas con una alta capacidad calorífica. Esto hace posible separar el sistema de almacenamiento de energía del sistema de producción eléctrica ya que el ciclo de vapor es libre de coger energía térmica del almacenamiento en función de sus necesidades.

El sistema de generación eléctrica, en el que está incluido el sistema de generación de vapor (SGV) para la turbina, es un sistema bastante convencional por su similitud a las plantas térmicas. Sin embargo, el sistema de almacenamiento de la energía en forma de calor mediante un campo solar es un sistema que especialmente en la tecnología de torre central es totalmente novedoso.

Gemasolar ha sido la primera planta comercial de torre en todo el mundo en implantar este sistema de almacenamiento en sales fundidas. Con este sistema se puede generar energía eléctrica durante 15 horas de forma continua. El receptor de sales fundidas permite además calentar directamente las sales fundidas alcanzando los 565°C que hacen más eficiente el ciclo termodinámico.

Uno de los principales problemas para cumplir con la producción estimada radica principalmente en los días con transitorios de radiación normal directa debido a las nubes que sombrean el campo solar. Con el objeto de maximizar el aprovechamiento en estos días, se desarrolló un sistema de predicción de nubes con la Universidad de Almería. El sistema consiguió tener un gran acierto en la predicción de las nubes que sombrean el campo solar. Sin embargo, el sistema resulto tener algunas carencias como el gran coste del instrumental que no permitía dar ventajas al desarrollo como la triangulación mediante cámaras de nubes para determinar la altura exacta de la nube, así como el alto mantenimiento requerido por el instrumental. Este alto coste y alto mantenimiento hacen que el desarrollo sea un buen desarrollo científico pero no aplicable para la industria.

Objetivos:

En este proyecto se pretende realizar un desarrollo útil y viable para los operadores de una planta termosolar, en el que se utilizará el desarrollo de predicción de nubes realizado por la Universidad de

Almería. Uno de los principales inconvenientes del desarrollo realizado es su alto coste en instrumentación y mantenimiento que hace difícil explotar el potencial de la herramienta.

Por lo tanto, se estudiará diferente instrumentación disponible en el mercado para conseguir el mismo índice de acierto y las mismas ventajas para el usuario final, el operador. Esto repercutirá en la obtención de un producto final que consiga optimizar la operación en los transitorios de nubes, principal problema de operación en la tecnología termosolar.

Resultados durante 2013:

En este año nos hemos centrado en desarrollar una metodología para identificación de nubes con cámara de cielo.

Las imágenes de la cámara de cielo utilizada en este desarrollo (TSI-880) tienen problemas de saturación de píxeles en la zona solar, generándose alrededor de la misma un espacio, que en ocasiones puede suponer hasta un 40% de la imagen, donde debido a la saturación se desconoce si existe la presencia de nubes o no. Para ello, durante este ejercicio, se desarrolló una metodología que pretende identificar nubes en la zona del sol y resol cuando aparecen saturadas. Atendiendo la petición de diversos autores en publicaciones científicas referentes a esta problemática, se utilizaron datos de radiación solar para determinar cuál era el estado del área solar en las imágenes de cámara de cielo. Tras conseguir identificar las causas de la saturación en esta región basada en los datos radiométricos, se elabora un procesamiento de las imágenes para la identificación de nubes en toda la bóveda celeste. Una clasificación del cielo basada también en datos de radiación, establecerá un cielo despejado, parcialmente cubierto o cubierto para un procesamiento de la imagen de acuerdo a las condiciones de cielo. Las imágenes son divididas en tres bandas o canales del espacio de color RGB (red, green and blue) y posteriormente transformadas al espacio de color HSV (hue, saturation and value), donde mediante diferentes combinaciones de canales, se elabora una metodología que identificará nubes en cualquier condición de cielo.

Dando un paso más y con el propósito de conseguir un desarrollo competitivo y económicamente viable, se han estudiado diferentes cámaras de cielo para una reducción de costes ampliamente considerable. Para ello, se ha adquirido una cámara de cielo marca Mobotix, modelo Q24, donde se obtiene una imagen de similares características que la de TSI-880. Tras la elección de la cámara, se ha elaborado un procesamiento de las imágenes para identificar nubes. Se han obtenido resultados similares en el procesamiento de las imágenes para las dos cámaras, estando la tasa de cierto situada en un 90% para todos los tipos de cielo.

Abstract:

The electric generation system, where the steam generation system (SGV) is included, is a conventional system due to its similitude with thermal plants. However, the energy storage system (in hot form through a solar field) is totally newfangled in technology of central tower.

Gemasolar has been the first commercial plant with central tower technology in all of the world that has implanted this storage system in molten salts. With this system it can be possible to generate electric energy

during 15 hours continuously. Also, the receiver of molten salts, allows to heat they directly, reaching 565°C making more efficient the thermodynamic cycle.

One of the main problems to carry out the estimated production is mainly on days with transients in the direct normal radiation due to clouds that shade the solar field. In order to maximize the use in these days, it was developed a system of forecast of clouds with the University of Almería. The system was able to have a great success in the forecast of clouds that shade the solar field. However, the system turned out to have some shortcomings such as the high cost of instruments that not allow to give advantages for the development, as the triangulation through cameras of clouds to determinate the height, as well as the high maintenance required by instruments. This high cost and high maintenance provoke that the development is a good scientific development but not applicable to the industry.

In this project is pretends to do an useful and feasible development for operators of a solar thermal power plant, in which, the development of forecast of clouds performed by University of Almería, will be used. One of main drawbacks of development is the high cost in instrumentation and maintenance that does it difficult to maximize performance.

Therefore, available different instrumentation will be study to get the same advantages and success for the end-user, the operator. This will help to have an end-product that optimizes the operation in the transients of clouds, main problem in the operation in the solar thermal technology.

Publicaciones:

N.A.

2.5.6 Transferencia y Actividades Complementarias

- Organización y asistencias de la visita de una Delegación de la Universidad de Tarapacá, Arica, Chile, formada por el docentes expertos en Energías Renovables, para una colaboración en temas de evaluación de recurso solar.
- Varias reuniones con la empresa Torresol Energy O&M, S.L. para la elaboración de un proyecto común.

2.6 ACTIVIDADES EN FRÍO SOLAR

La Unidad de Frío Solar se forma en el año 2013 a raíz del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL) y sus miembros pertenecen al grupo "Recursos Energético Solares y Climatología (TEP165)". El Grupo TEP165 es un grupo estable desde su creación en el año 1997 en el seno del Plan Andaluz de Investigación de la Junta de Andalucía, siendo su responsable desde su fundación Francisco Javier Batlles Garrido. Nuestro grupo ha sido considerado en numerosas ocasiones como Grupo de Excelencia dentro del Plan Andaluz de Investigación. En la actualidad está formado 9 profesores todos ellos doctores, 7 pertenecientes al área de Física Aplicada, 1 al área de Máquinas y Motores Térmico y 1 al área de Lenguajes y Sistemas Informáticos y tres becarios de investigación también doctores.

2.6.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Diseño y optimización de plantas de refrigeración y calefacción solar.
- Diseño y optimización de sistemas de refrigeración y calefacción utilizando agua de subsuelo e intercambiadores geotérmicos.
- Diseño y optimización de plantas de trigeneración.
- Integración de los sistemas térmicos y fotovoltaicos a la construcción, naves, almacenes e invernaderos.

Main research lines

- *Design and optimization of solar thermal cooling and heating systems.*
- *Design and optimization of air-conditioning system coupled with shallow geothermal systems and ground-coupled heat exchanger.*
- *Design and optimization of trigeneration systems.*
- *Integration of the solar thermal and photovoltaic energy in the construction, warehouses or greenhouses.*

2.6.2 Investigadores principales del grupo

Francisco Javier Batlles Garrido

Profesor Titular de Universidad y acreditado al Cuerpo de Catedráticos de Universidad por el Departamento de Química y Física de la Universidad de Almería. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada (1986) y Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada. Director desde su fundación en 1998 del Grupo de Investigación "Recursos Energético Solares y Climatología" del Plan Andaluz de Investigación. Miembro de la Comisión de Evaluación Científica y Tecnológica de Andalucía, perteneciente al Plan Andaluz de Investigación, del 2002 al 2005. Ha desarrollado su labor científica siempre en el seno del Grupo de Investigación en temas relacionados con la evaluación y predicción del recurso solar y modelado y diseño de instalaciones solares para calefacción y refrigeración de edificios. Ha dirigido 10 contratos de investigación con diferentes instituciones públicas y privadas, entre las que cabe destacar, GEMASOLAR 2006, S.L., Torresol Energy O & M, S.A, Millenio Solar Desarrollo de Proyectos, Agencia Aeroespacial Alemana. Coautor de más de 60 artículos en revistas internacionales

con impacto, más de 150 publicaciones en congresos tanto nacionales como internacionales así como un libro nacional. Ha dirigido 7 tesis doctorales.

Francisco Javier Batlles Garrido

He received his physics degree and the Ph.D. from the University of Granada, Spain, in 1986 and 1995, respectively. He is a Professor in the Department of Chemistry and Physics at the University of Almería, Almería, Spain. He is the head of the research group Solar Resource Assessment and Climatology at the University of Almería. His research interests include evaluation and forecast of the solar resource, design and optimization of the solar thermal cooling and heating systems. He has authored and coauthored over 60 articles in international journals, about 150 conference papers, both national and international and 7 doctoral theses directed. Prof. Batlles has been the Principal Researcher of 10 research projects funded by the Ministry of Science and Innovation and contracts with different companies such as GEMASOLAR 2006, S.L., Torresol Energy O & M, S.A, Solar Millennium, German Aerospace Centre

2.6.3 Miembros del grupo

- Francisco Javier Batlles Garrido (UAL)



- Francisco Javier Barbero Francisco (UAL)



- Sabina Rosiek (UAL)



2.6.4 Frio solar

Participantes:

- Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

N.A.

Duración prevista:

Enero 2012 – Julio 2014

Situación:

En curso

Resumen:

Compatibilizar el ahorro energético con la necesidad de frenar el cambio climático es el gran reto que tienen en la actualidad los países más desarrollados. En los últimos años en España existe una gran concienciación sobre todo lo relacionado con el ahorro energético, las emisiones de dióxido de carbono

a la atmósfera y la degradación del medio ambiente. En este sentido desde la administración pública se está fomentando la integración de la energía solar en la edificación, tanto de forma pasiva como activa. Una de las formas activas es la refrigeración solar que en los últimos años está teniendo un gran desarrollo y, se está consolidando como una de las aplicaciones más interesantes de la energía solar térmica de baja temperatura, sobre todo en las regiones del sur de Europa. Esto se debe fundamentalmente a que el pico del consumo eléctrico en muchos países y fundamentalmente en España se está trasladando de los meses de invierno a los meses de verano, debido a la creciente utilización de los sistemas de refrigeración. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que los sistemas de refrigeración tradicionales (sistemas basados en la compresión del refrigerante) necesitan un mayor aporte de energía eléctrica para su funcionamiento. Estudios recientes han puesto de manifiesto que los refrigerantes utilizados en dichos sistemas tienen grandes efectos sobre el medioambiente, tales es el caso de los CFC, que reducen considerablemente la capa de ozono. Por el contrario, los sistemas alternativos basados en refrigeración por absorción utilizan fuentes de calor residual como solar, biomasa o geotermia, siendo en este caso mínimo el coste de la energía. Sin embargo estos sistemas requieren mejoras para ser más competitivos frente a los sistemas de compresión convencional. Por tanto, con este proyecto se pretende contribuir a la mejora y optimización de un sistema de calefacción y refrigeración solar instalado en el edificio CIESOL con el fin de fomentar su aplicación en la climatización de viviendas.

Objetivos:

- Evaluación, modelización energética y mejora del sistema de refrigeración y calefacción solar instalado en el edificio CIESOL.
- Implementación y pruebas experimentales de nuevos algoritmos de control propuestos para mejora de la instalación.
- Análisis del impacto energético y ambiental teniendo en cuenta varios factores como por ejemplo: ahorro de energía primaria, consumo de agua, emisiones de CO₂, costes de inversión, operación y mantenimiento anual y finalmente el periodo de amortización de la instalación estudiada.

Resultados durante 2013:

Después de varios años de operación con el sistema de frío solar se llegó a conclusión de que sería posible ahorrar mucha energía cambiando el algoritmo de operación del mismo, teniendo en cuenta la muy variada dinámica de la carga térmica encontrada en el edificio CIESOL. Hasta el año 2012 el sistema funcionó dentro de una zanja horaria fija comprendida entre las nueve de la mañana y las ocho de la tarde, sin ninguna restricción relacionada con la carga real a refrigerar. Se demostró que el sistema de frío solar en muchas ocasiones trabaja con la menor capacidad al respecto de la capacidad máxima del diseño, debido a la menor carga térmica encontrada en el edificio. Teniendo en cuenta los mencionados anteriormente argumentos se modificó el sistema de distribución de agua fría, incorporando dos tanques de almacenamiento de 2000 y 3000 litros, respectivamente, una bomba de caudal variable y los sensores de presencia instalados en cada dependencia del edificio CIESOL. El sistema de almacenamiento de frío instalado evita también las paradas de la máquina de absorción, que tienen lugar cuando la temperatura

de salida del evaporador es del orden de los 6°C y también nos sirve para cubrir la demanda de refrigeración en aquellos casos en los que no tenga ningún tipo de energía térmica y para anticipar el abastecimiento de agua fría en el edificio en los primeros momentos del arranque del sistema de frío solar. Con el fin de introducir un nuevo modo de operación del sistema de refrigeración solar, se realizó una modificación del algoritmo del control y se realizó un estudio comparativo entre el funcionamiento del sistema de refrigeración solar con acoplamiento de tanques fríos y sensores de presencia y otro sin tanques. Dicha modificación permite, en momentos de poca carga térmica registrada en el edificio CIESOL, utilizar únicamente la bomba de caudal variable, sin necesidad de operar con la máquina de absorción y todos los elementos relacionados con su uso, recirculando agua fría entre los tanques de almacenamiento y las dependencias del edificio. La figura adjunta muestra el consumo eléctrico del sistema de frío solar para tres días de ensayo. Se demostró que aplicando la nueva secuencia de operación para los días de poca carga térmica era posible ahorrar del orden de 42% (figura adjunta 2.17 b) de energía eléctrica comparando con el consumo eléctrico del sistema de frío solar sin tanques de agua fría y sin sensores de presencia (figura adjunta 2.17a). Adicionalmente, se detectó que para los días nublados y con poca carga térmica registrada en el edificio CIESOL es posible ahorrar del orden de 82% de energía eléctrica, siendo ambos resultados muy satisfactorios.

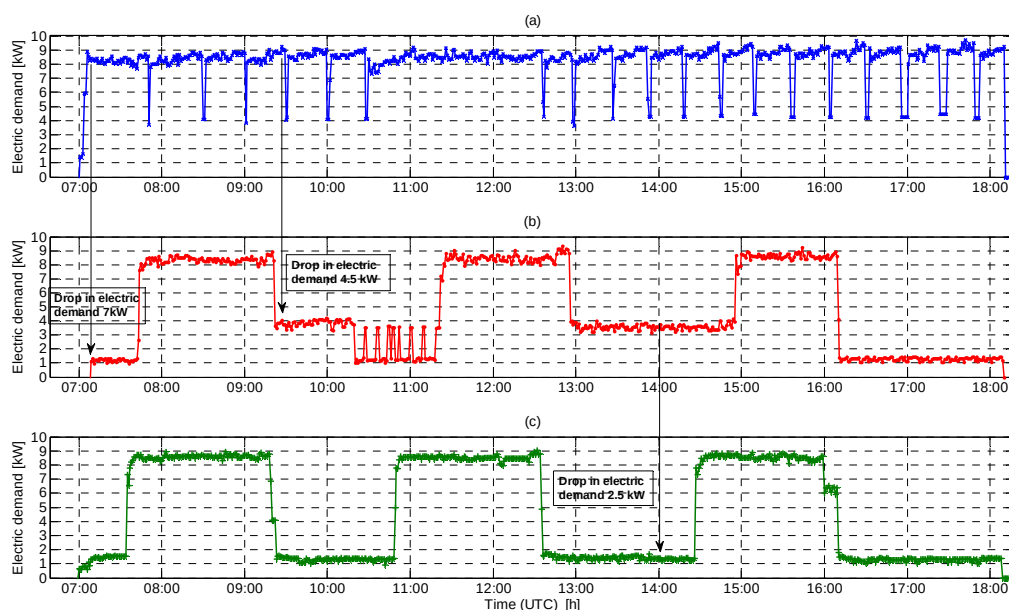


Fig. 2.17. a) Consumo eléctrico del sistema de frío solar sin tanques de agua fría y sin sensores de presencia (19/09/2012), b) consumo eléctrico del sistema de frío solar con tanques de agua fría y con sensores de presencia (21/09/2012), c) consumo eléctrico del sistema de frío solar con tanques de agua fría y con sensores de presencia en un día nublado (18/09/2012).

Basándose en la amplia y muy variada infraestructura energética del edificio CIESOL se realizó un estudio comparativo entre cuatro diferentes configuraciones de los sistemas que han sido dimensionados para cubrir las cargas anuales de electricidad, calefacción y refrigeración registradas en el edificio CIESOL. El objetivo principal de este estudio fue indicar la mejor, desde el punto de vista del impacto energético y

ambiental, configuración que cubriría todas las necesidades bien sean térmicas que eléctricas del edificio CIESOL. Dicha comparación se llevó a cabo teniendo en cuenta varios factores como por ejemplo: ahorro de energía primaria, consumo de agua, emisiones de CO₂, costes de inversión, operación y mantenimiento anual y finalmente el periodo de amortización en dos diferentes escenarios. En el primer escenario toda la electricidad producida por la instalación fotovoltaica en el edificio CIESOL es automáticamente consumida por el mismo, mientras que en el segundo escenario la electricidad producida se inyecta a la red del campus de la Universidad de Almería y la demanda eléctrica del edificio CIESOL se cubre con la electricidad procedente de la red convencional. Los resultados ponen de manifiesto que de las cuatro configuraciones estudiadas, solamente el sistema basado en el uso de energía solar, y compuesto por el campo de captadores solares, una máquina de absorción, una torre de refrigeración, tanques de acumulación de agua caliente y fría, y una instalación fotovoltaica presenta un ahorro de energía primaria del orden de 61% frente al sistema convencional, utilizado como el sistema de referencia, siendo a su vez una alternativa técnicamente y económicamente viable. Al mismo tiempo se utilizan los recursos solares abundantes en una región como Almería, disminuyendo el consumo eléctrico del edificio CIESOL, protegiendo a su vez el medioambiente, y siendo el sistema que no aplica los refrigerantes de alto riesgo de contaminación. En la figura adjunta se muestra la actual infraestructura energética instalada en el edificio CIESOL y considerada durante el mencionado anteriormente estudio comparativo.

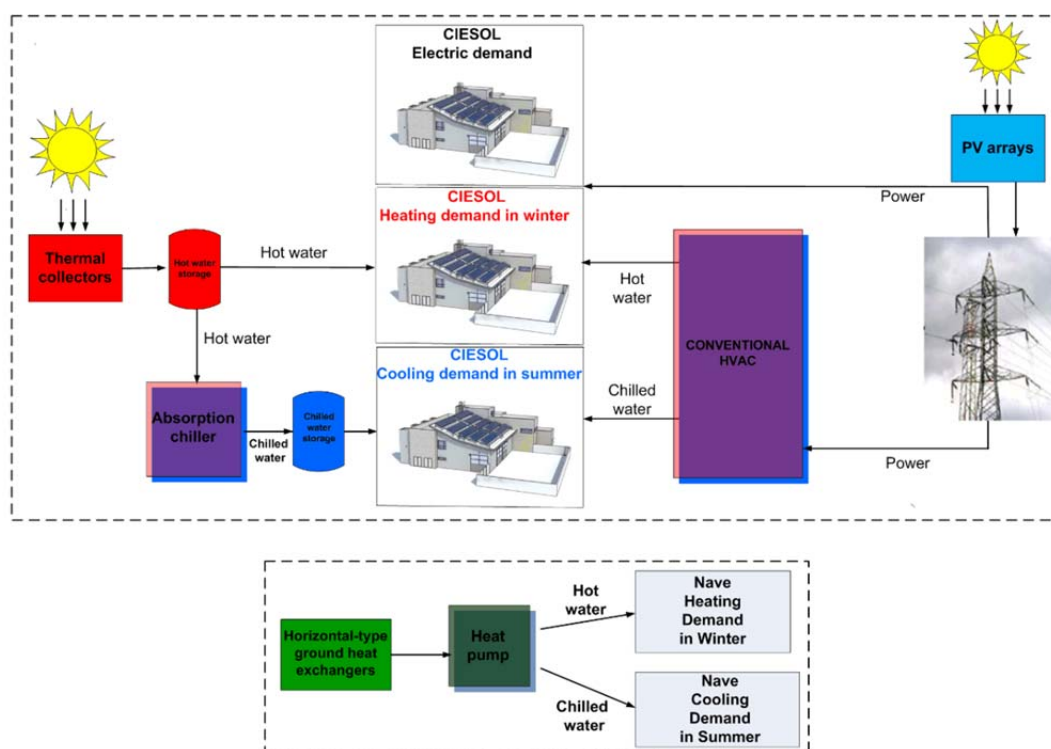


Fig. 2.18. Actual infraestructura energética instalada en el edificio CIESOL y considerada durante el estudio realizado.

Abstract:

Making the use of renewable and nonrenewable energy sources efficient and enabling to curb the climate change is the greatest challenge facing most of the developed countries. As a result, in recent years in Spain an increased awareness of energy savings related issues, such as control of greenhouse gases emissions into the atmosphere and environment degradation, has been raised. In response to that awareness campaign, Spanish government deployed the integration of solar energy use in buildings, using passive and active solutions. In the last few years the solar-assisted air-conditioning systems have been in intensive development and are considered as the viable application for the thermal solar systems more often, especially in regions of southern Europe. This is driven by the increasing higher electrical consumption in many countries (especially in Spain) during the summer months due to expanding usage of cooling systems. Another important aspect to consider is that the traditional cooling systems require additional power consumption and studies have shown that the refrigerants used in those systems cause ozone layer depletion and greenhouse effect. Systems based on absorption cooling, on the other hand, use waste heat sources such as solar, biomass or geothermal energy, and are low price energy sources that have less impact on global warming. However these systems need improvement to be more competitive with conventional systems. Therefore, this project aims to contribute to improvement and optimization of solar-assisted air-conditioning system installed in CIESOL building in order to promote its application in building sector.

Publicaciones:

Revistas

- Rosiek ,S., Batlles, F.J. **Reducing a solar-assisted air-conditioning system's energy consumption by applying real-time occupancy sensors and chilled water storage tanks throughout the summer: a case study.** Energy Conversion and Management 2013, 76, 1029-1042. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.08.060
- Rosiek ,S., Batlles, F.J. **Renewable energy solutions for building cooling, heating and power system installed in an institutional building: Case study in southern Spain.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013, 26, 47-168. DOI: 10.1016/j.rser.2013.05.068

2.6.4 Transferencia y Actividades Complementarias

- Organización y asistencia de la visita del grupo de investigación de Wroclaw University of Technology (Polonia). Visita con carácter de conocer las actividades del centro Ciesol en la materia de energías alternativas e eficiencia energética. 19/09/2013
- Curso impartido: Environment, water and waste, Uni seminar series meets civil CPD, organizado por The School of Science, Education and Engineering at the University of the Sunshine Coast (Australia), 29/08/2013÷31/08/2013.

3. INFRAESTRUCTURAS Y CAPACIDADES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS DEL CENTRO

Desde su creación, el centro ha ido incrementado gradualmente el número y capacidades de sus infraestructuras científico-tecnológicas. En este capítulo se describirán las mismas así como la Unidad Técnica que se encarga del control y mantenimiento de dicho equipamiento y de colaborar con el resto de investigadores en el desarrollo de los proyectos. El amplio y avanzado equipamiento con el que se cuenta, otorga la posibilidad de ofertar un servicio de calidad y alta competitividad a la comunidad científica y las empresas del sector. En un futuro próximo, se considera la posibilidad de que dicho servicio sea ofertado en términos de externalización y apoyo a desarrollos de empresas centro, y poder revertir los resultados en la mejora de las capacidades y la cantidad de los proyectos y equipamiento del centro.

3.1 UNIDAD TÉCNICA

El hecho de ser un Centro interdisciplinar y recibir de forma permanente investigadores, doctorandos o estudiantes de fin de master afecta a la optimización de los equipos científicos, generando la necesidad de tener una actualización y un mantenimiento de los equipos permanente por parte del personal responsable. Dicho personal ha de ser capaz de entender no solamente el problema técnico sino también cual es el objetivo de la investigación que en cada caso se propone. Teniendo en cuenta esta necesidad, el Centro CIESOL designó una unidad técnica compuesta por Sabina Rosiek y Octavio Malato.

Esta unidad técnica está cofinanciada por el CIESOL y el Ministerio de Ciencia e Innovación (actual Ministerio de Economía y Competitividad), a través del Subprograma Personal Técnico de Apoyo (MICINN PTA) dentro de la modalidad de infraestructuras científico-tecnológicas. Ambos técnicos cuentan con la capacidad de tener una comunicación fluida en inglés y han sido considerados idóneos para la concesión de la ayuda, dado que cuentan con la formación técnica requerida y una experiencia laboral probada.

Cabe destacar el impacto que supone la actuación de ambos técnicos en el incremento y mejora de la investigación y transferencia de sus resultados en el Centro CIESOL, en tanto en cuanto, sus actividades anteriores en el Centro y fuera de él, se han plasmado en un elevado número de publicaciones científicas basadas en sus actividades tecnológicas e investigaciones.

A continuación se describirán las actividades de ambos técnicos.

Técnico de apoyo: Sabina Rosiek

(Subprograma Personal Técnico de Apoyo MICINN PTA2011-6319-I, modalidad Infraestructura)

El área de Evaluación del Recurso Solar y Eficiencia Energética en la Edificación del Centro de Investigaciones de la Energía Solar (CIESOL) dispone de una serie de infraestructuras que permiten realizar a nivel de planta piloto caracterización, evaluación de viabilidad, optimización y mejoras de las mismas.

Estas infraestructuras científicas (instalación de calefacción y frío solar, y fotovoltaica conectada a la red) requieren un mantenimiento especializado y relativamente complejo debido a que son muchos y muy diferentes los elementos que las componen. Es necesario destacar que dichos sistemas son las únicas fuentes de refrigeración y calefacción para el centro CIESOL, por lo cual es de vital importancia su ininterrumpido funcionamiento.

La experiencia del técnico contratado (ya que ha estado realizando actividades análogas en la misma instalación durante los últimos 6 años) permite la optimización de los trabajos experimentales y el uso diario de las instalaciones. El técnico cuenta por tanto, con la formación técnica y experiencia laboral requerida. Es y será responsable de cinco tareas:

1. la realización de las tareas de servicio preventivo de que cada elemento.
2. solución de averías que eventualmente pudieran producirse en los equipos.
3. elaboración de informes de incidencias ocurridas en las instalaciones.
4. la realización de operaciones de conservaciones de todos los equipos.
5. la realización de posibles trabajos de puesta a punto que pudieran ser indicadas como una mejora de instalación.

Técnico de apoyo: Octavio Malato

(Subprograma Personal Técnico de Apoyo MICINN PTA2010-3379-I, modalidad Infraestructura)

El área de tratamiento de aguas del Centro de Investigaciones de la Energía Solar (CIESOL) de la UAL cuenta con distintas infraestructuras en muchos casos acopladas que permiten realizar a nivel de planta piloto el tratamiento y su evaluación de aguas de diferentes procedencias (residuales, industriales etc.). Estas infraestructuras científicas requieren un mantenimiento especializado que cubre aspectos como sistemas de comunicación informático de la instrumentación y reactores, bases de datos de contaminantes para su identificación y condiciones de tratamiento y sistemas de tratamiento de muestras. Además para el mejor funcionamiento del mismo y acceso a contratos de investigación sería oportuno desarrollar y aplicar un sistema de calidad ISO a las citadas instalaciones.

Hasta la fecha se han desarrollado importantes proyectos de investigación competitiva que han supuesto unos fondos de investigación de alrededor de 1 millón de euros y un número de publicaciones de más de 100 artículos científicos. Es evidente que la producción de esta área ha recaído y recae en gran medida en la calidad y funcionamiento de su infraestructura científica que requieren de un constante trabajo de actualización y mantenimiento. Elementos destacados de esta infraestructura son: cromatógrafos, plantas piloto solares y reactores biológicos, etc. La instrumentación analítica está basada especialmente en espectrometría de masas de última generación y requiere un mantenimiento especializado.

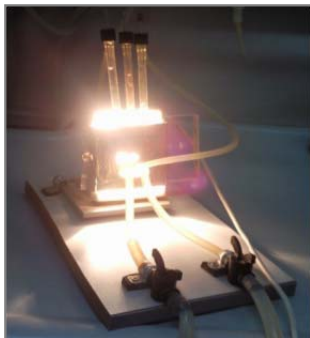
Aunque las instalaciones e infraestructuras del centro se encuentran distribuidas entre el área de aprovechamiento químico de la energía solar y el área de aprovechamiento energético de la energía

solar, cabe destacar que todas y cada una de ellas son propiedad del CIESOL, por tanto, de total acceso por parte de los investigadores de cualquiera de dichas unidades.

La presencia de las diferentes infraestructuras y el personal de las distintas unidades funcionales, así como contar con una unidad técnica especialista en el manejo y mantenimiento del equipamiento, nos convierte en un centro multidisciplinar en el cual cabe la posibilidad de combinar distintas áreas de investigación para desarrollar proyectos de investigación, tesis doctorales, dar servicios al exterior, etc.

3.2 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO DE LA ENERGÍA SOLAR

Sistema micromolar fotoquímico

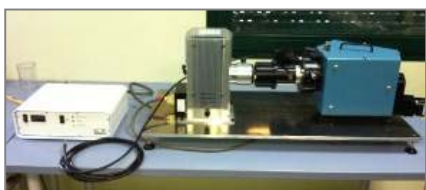


El reactor micromolar fotoquímico es un sistema que permite irradiar de forma controlada un pequeño volumen de un sistema químico reactivo, tanto homogéneo como heterogéneo, utilizando como fuente de radiación la luz solar o, en su defecto, lámparas artificiales de luz halógena, es idóneo para estudiar las reacciones fotoquímicas a tiempo real o muy corto. De este modo se evita cualquier perturbación en el medio de reacción y se controla de forma constante todos los parámetros externos que puedan influir en la reacción

Espectrofotómetros

- Espectrofotómetro de fluorescencia Fluoromax-4 Horiba Jobin Yvon
- Espectrofotómetro UV-Vis JASCO V650
- Espectrofotómetro UV-Vis Hach Lange

Irradiador de tubos de RMN



Se usa principalmente para estudiar mecanismos de reacción mediados por luz, identificación de especies intermedias y cinética de reacción

Carruseles de reacción

Los carruseles de reacción constan de doce tubos con tapa de teflón para trabajar en varios tipos de atmosfera de reacción, con un refrigerante en la parte superior de los tubos para condensación de líquidos. La temperatura de trabajo va desde temperatura ambiente hasta 300°C. Cada tubo se agita individualmente.

Se usa principalmente para hacer estudios catalíticos variando atmosfera de reacción, tiempo de reacción y temperatura de reacción.

Cromatógrafo Líquido de Alta Presión (UPLC Agilent Technologies series 1200)

El equipo permite el análisis de sustancias presentes en medios acuosos y orgánicos con alta precisión y con tiempos relativamente cortos de análisis mediante cromatografía inversa debido a su capacidad para trabajar a alta presión. Este dispositivo es utilizado para la detección de contaminantes presentes en el agua y permite estudiar la eliminación de los mismos.

Cromatógrafo de Gases SHIMADZU GC-2010

El cromatógrafo de gases está equipado con una columna capilar Supelco SP-2330, con un detector FID, con posibilidad de inyección de muestra split/splitless. Se usa principalmente para separar e identificar

sustancias orgánicas producidas en procedimientos catalíticos con compuestos organometálicos y como fuente de energía la luz solar y/o la térmica.

Espectrómetro de masas AB SCIEX QTRAP 5500 LC/MS/MS



Se trata de un espectrómetro de masas híbrido cuadrupolo-trampa de iones lineal acoplado a cromatografía líquida de alta resolución. Proporcionan excelente sensibilidad en full scan, MS/MS y MS³. Se aplica a la determinación de microcontaminantes orgánicos (plaguicidas, contaminantes emergentes, etc.) presentes en muestras

de aguas residuales y otras matrices medioambientales, así como al seguimiento de los mismos durante los ensayos de degradación

Espectrómetro de masas triple cuadrupolo BRUKER 320MS acoplado al cromatógrafo de gases BRUKER 450GC

Este sistema cromatográfico es complementario a los anteriores ya que permite análisis de compuestos orgánicos de baja/media polaridad. Se aplica especialmente a la determinación de niveles traza de contaminantes como fragancias sintéticas, plaguicidas, PAH, etc.



Cromatógrafo iónico (Metrohm 881 Compact IC Pro)

Este cromatógrafo permite el análisis preciso de aniones o cationes en concentraciones de µg/L a g/L, con límites de detección <1 µg/L. Este sistema es fundamental para la caracterización de efluentes acuosos con los que se lleva a cabo la experimentación, ya que la presencia de ciertos cationes como fosfatos y cloruros afectan a los procesos de descontaminación de aguas llevados a cabo (procesos de Fenton y foto-Fenton solar).

Analizador de carbono orgánico total (TOC)

Este equipo permite determinar el carbono y el nitrógeno disueltos. En el laboratorio es usado para la determinación de carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno disuelto en muestras líquidas de aguas residuales para evaluar su depuración cuando se le aplica un tratamiento oxidativo.

Analizador de la demanda biológica de oxígeno (DBO)

La demanda biológica de oxígeno (DBO mg O₂ /L) determina los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales efluentes y aguas contaminadas para su degradación biológica. Esta medida expresa el grado de contaminación de aun agua residual por materia orgánica potencialmente biodegradable bajo condiciones aeróbicas. Se emplea para controlar la mejora de la biodegradabilidad de efluentes tóxicos tratados con procesos fotocatalíticos.

Analizador de la demanda química de oxígeno (DQO)

Se emplea para estimar la cantidad de materia orgánica presente y su estado de oxidación. La combinación de esta medida con la DBO y el TOC permite una buena caracterización global de la calidad de un agua residual

Simulador solar Suntest CPS+ de Atlas



Este dispositivo simula el espectro solar, permitiendo la experimentación a escala de laboratorio, haciéndose fundamental en pruebas iniciales previas a la escala piloto.

Plantas piloto

Contamos con cuatro plantas piloto para el tratamiento de aguas contaminadas empleando el proceso foto-Fenton (generalmente). Operan con irradiación solar directa y cuentan con radiómetros para registrar la radiación incidente en cada caso.

Planta piloto para la evaluación del reuso en riego de las aguas regeneradas mediante tratamientos fotocatalíticos solares

La planta está cubierta con un protector anti-plagas de 20x10 mm, y dispone de doce macetas o contenedores con una mezcla de fibra de coco y turba como sustrato, donde se realizan los ensayos. Está dotada de dos sistemas de riego automatizados independientes.

Reactores biológicos

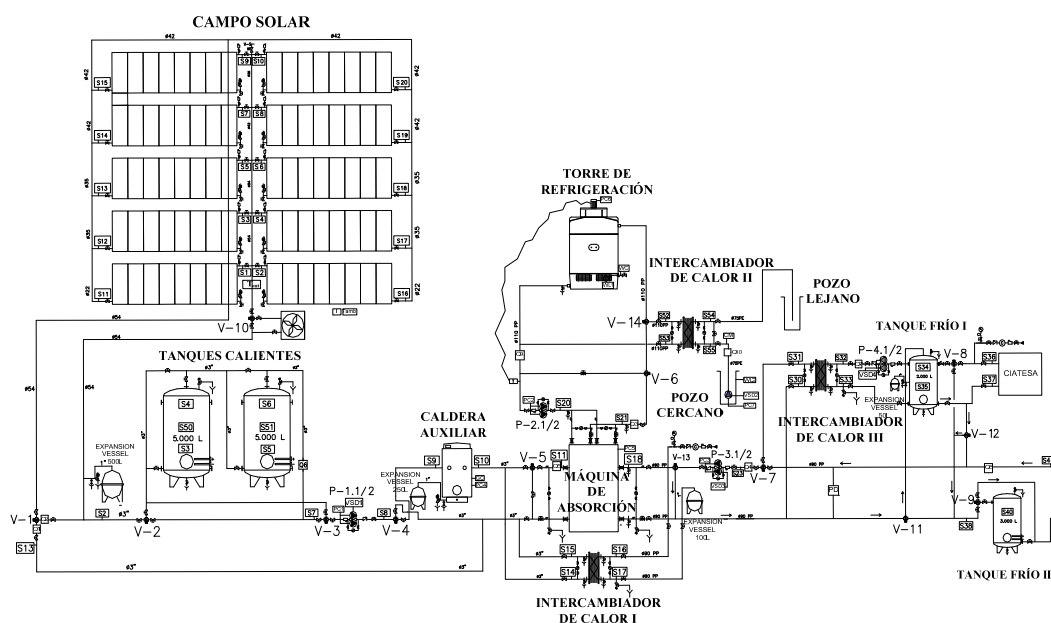
Se emplean para simular los distintos procesos biológicos de depuración de aguas

- De membrana Plana (MBR)
- De fibra hueca (MBR)
- Reactor biológico batch (SBR)
- Reactor biológico de membrana SiClaro® 8PE de Martin Systems AG

3.3. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ENERGÍA SOLAR

Sistema de refrigeración y calefacción solar.

El edificio CIESOL es uno de los cinco C-Ddl (contenedor demostrador de investigación) del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL). Dicho proyecto tenía como el objetivo principal demostrar que se es posible ahorrar de un 80 a un 90% de energía convencional a través de la correcta aplicación de las tecnologías solares activas y pasivas, adaptando el diseño del edificio al entorno y climatología. Con este objetivo en el edificio CIESOL en el año 2006 se instaló un sistema de refrigeración y calefacción solar. Dicho sistema consta fundamentalmente de un campo de captadores planos, una máquina de absorción, una torre de refrigeración, un sistema alternativo de disipación de calor utilizando agua de subsuelo, dos tanques de almacenamiento térmico, un sistema de apoyo y dos tanques de agua fría (figura 3.1). La instalación abastece la demanda de refrigeración y calefacción del edificio CIESOL y sirve como el banco de ensayos para las investigaciones.



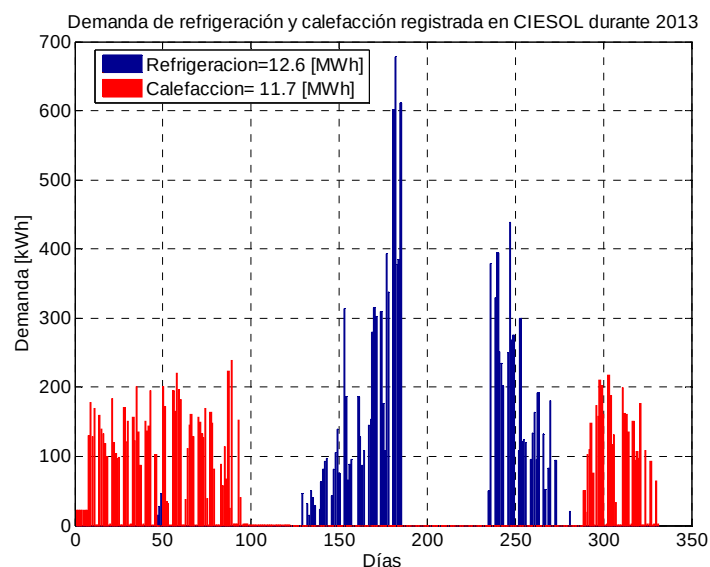


Fig. 3.2. Demanda de refrigeración y calefacción registrada en el edificio CIESOL durante el año 2013.

Figura 3.3 ilustra las energías aportada en el sistema de frío y calefacción solar a lo largo del año 2013 por el campo solar y la caldera auxiliar, siendo estas del orden de 65 MWh y 8.3 MWh, respectivamente y la energía recibida en el generador de la máquina de absorción, siendo del orden de 21.4 MWh. Durante el año 2013 se registró un consumo de unos 238 m³ del gas natural en la caldera auxiliar. La siguiente figura ilustra el perfil del mencionado consumo. Adicionalmente se registró un consumo de agua tratada por parte de la torre de refrigeración del orden de unos 27 m³, cuyo perfil se puede apreciar en la figura 3.3.5.

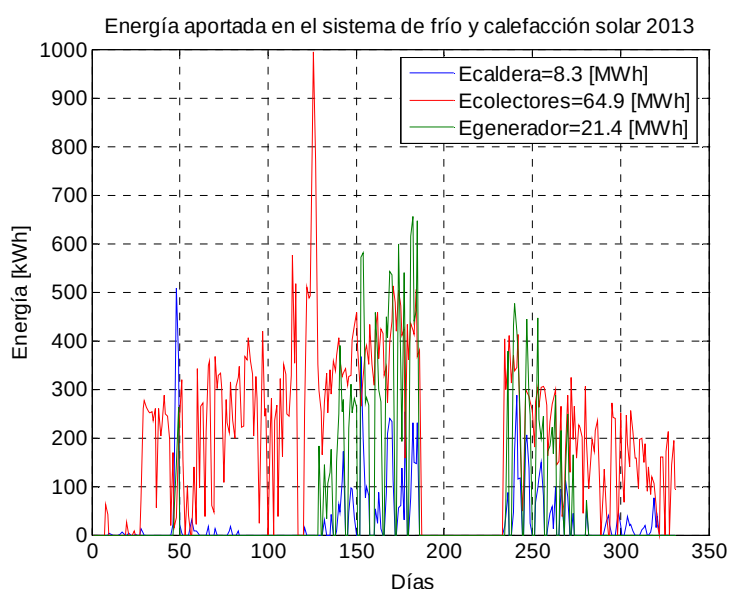


Fig. 3.3. Energía aportada en el sistema de refrigeración y calefacción solar durante el año 2013.

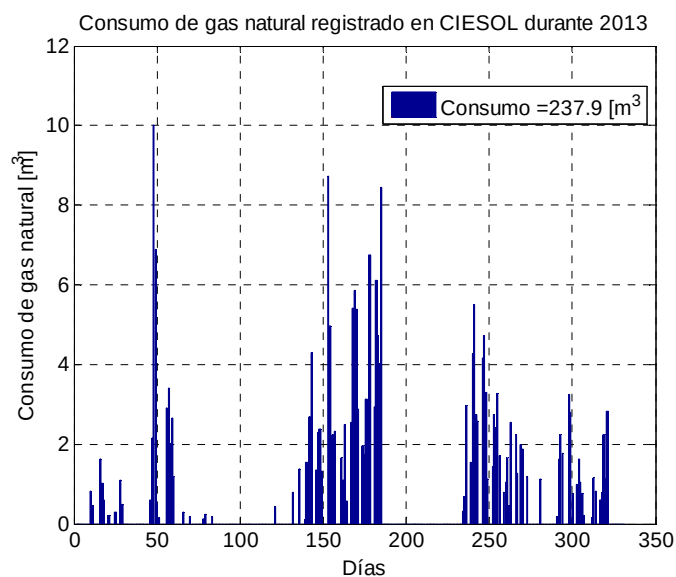


Fig. 3.4. El consumo de gas natural registrado en el edificio CIESOL durante el año 2013.

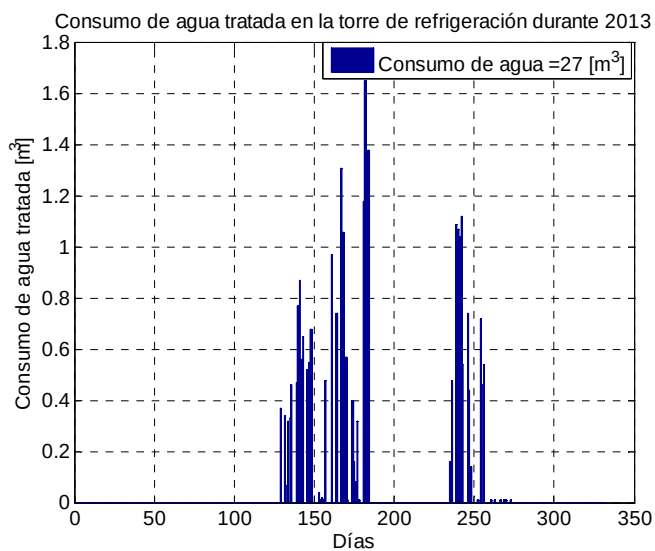


Fig. 3.5. El consumo de agua tratada en la torre de refrigeración registrado en el edificio CIESOL durante el año 2013.

A continuación se presenta el consumo eléctrico de todos los equipos más importantes del sistema de refrigeración y calefacción solar registrado durante 2013 (figura 3.6).

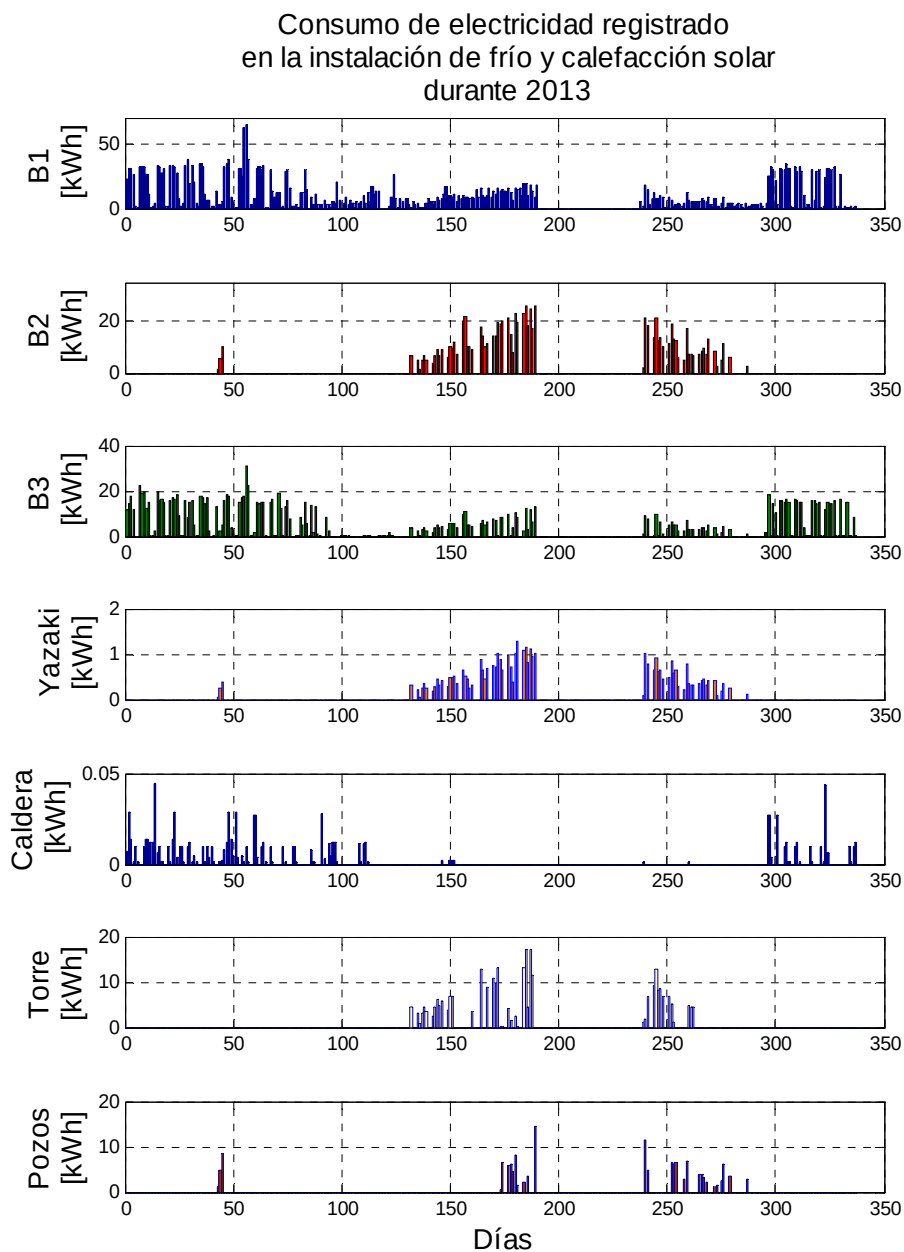


Fig. 3.6. El consumo eléctrico de los equipos más importantes del sistema de refrigeración y calefacción registrado en el edificio CIESOL durante el año 2013.

Figura 3.7 muestra el consumo eléctrico de todos los equipos más importantes del sistema de refrigeración y calefacción solar registrado durante el año 2013, siendo el total del orden de 6.2 MWh.

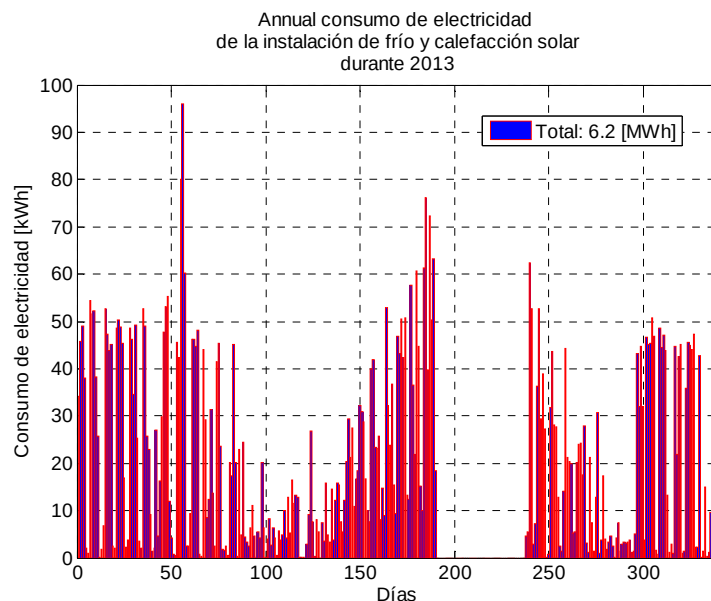


Fig. 3.7. El consumo eléctrico registrado en el sistema de refrigeración y calefacción solar registrado en el edificio CIESOL durante el año 2013.

Garita meteorológica

Desde 2007, el CIESOL cuenta con una estación meteorológica ubicada en la azotea del edificio. La figura 3.3.8 muestra los sensores instalados en la garita meteorológica. Se dispone de un seguidor solar (2AP Kipp&Zonen) sobre cual están instalados los sensores de medida de radiación solar global, directa y difusa respectivamente. En la mencionada estación se miden también otras variables meteorológicas genéricas, tales como temperatura, velocidad y dirección de viento, humedad, CO₂ y presión atmosférica.

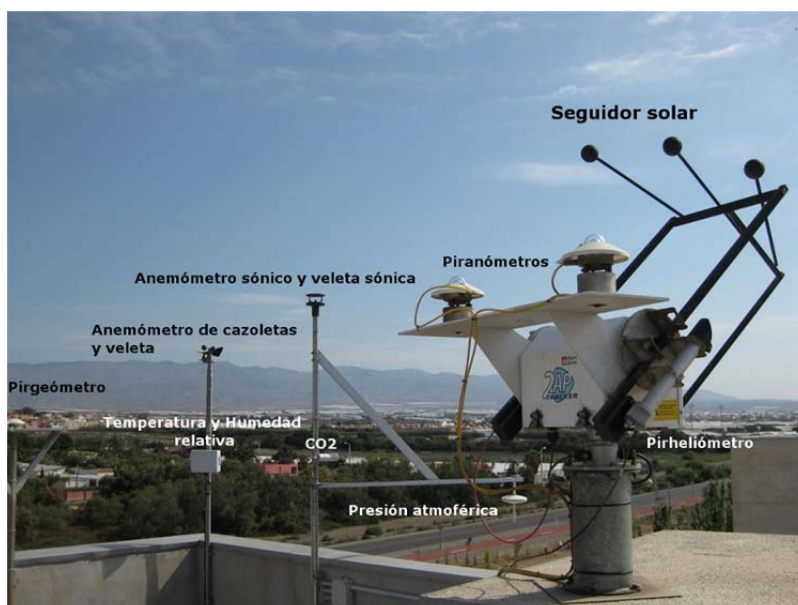


Fig.3.8. Garita meteorológica.

A continuación se presentan los datos anuales de más importantes variables meteorológicas registradas durante el año 2013. Figura 3.9 ilustra los datos de la radiación global y difusa sobre superficie inclinada y también datos de la radiación directa registrados en la garita del edificio CIESOL. Figura 3.10 presenta los promedios de la temperatura ambiente y la figura 3.11 los promedios de la humedad registrados en el edificio CIESOL.

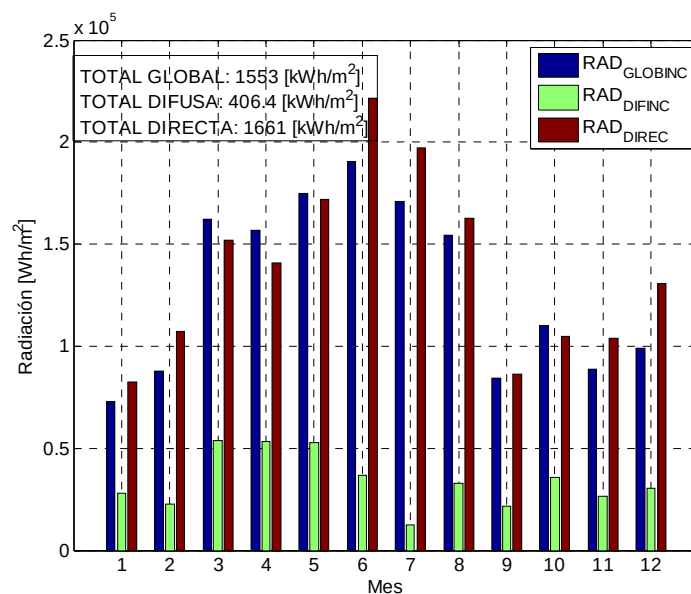


Fig.3.9. Datos de radiación registrados en el edificio CIESOL durante 2013.

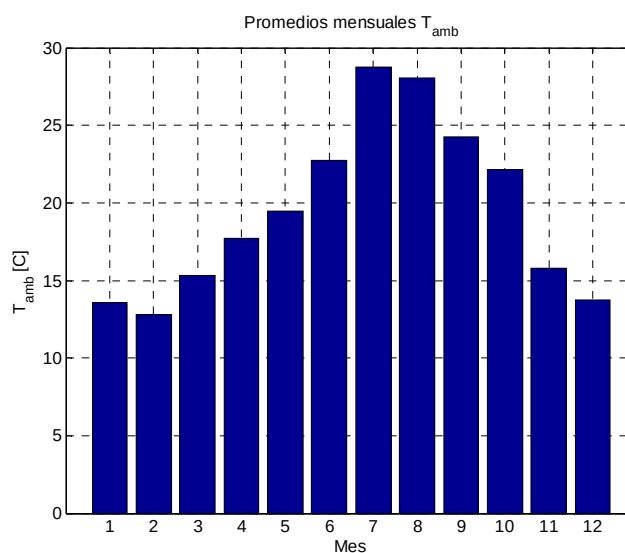


Fig.3.10. Promedios mensuales de la temperatura ambiente registrados en el edificio CIESOL durante 2013.

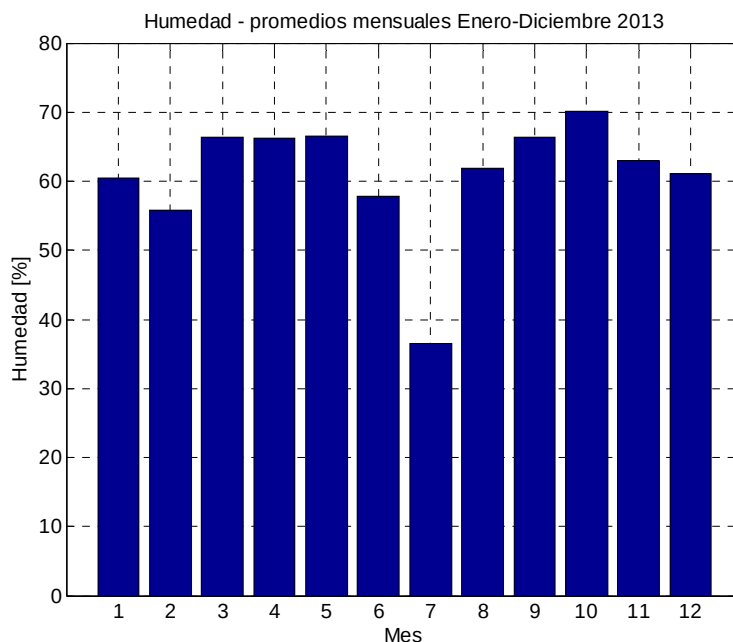


Fig.3.11. Promedios mensuales de la humedad registrados en el edificio CIESOL durante 2013.

Instalación fotovoltaica

Desde el Septiembre del año 2009, el edificio CIESOL cuenta con una instalación fotovoltaica que consiste en un total de 42 módulos, asociados en 3 series de 14 paneles/serie, con una potencia unitaria de 222 Wp/panel, configurando un campo fotovoltaico de 9,324 kWp conectado a tres inversores de 2500 W de potencia nominal. En la figura 3.12 se muestra el esquema general de la instalación fotovoltaica.

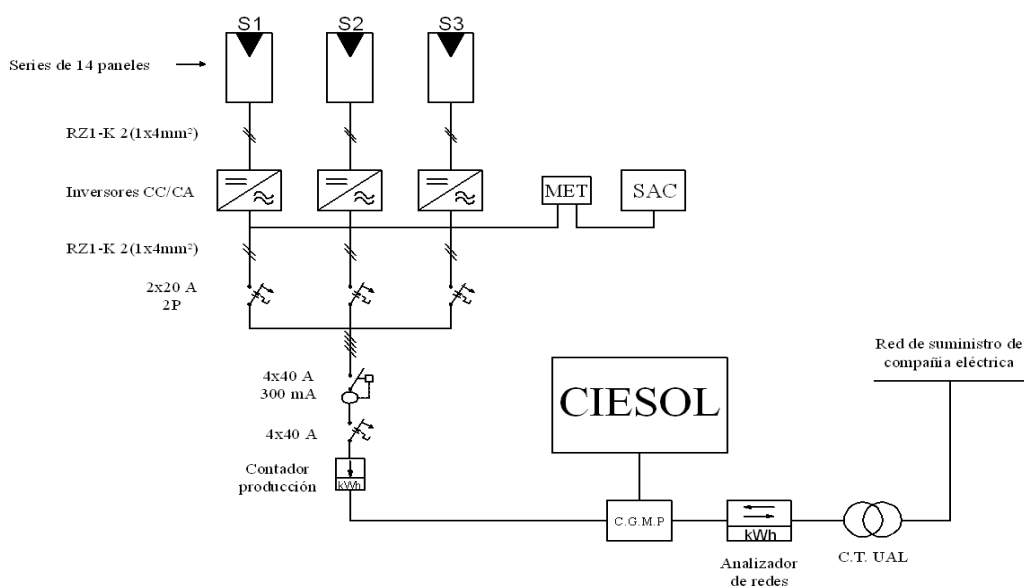


Fig. 3.12. El esquema general de la instalación fotovoltaica.

Figura 3.13 muestra la producción mensual del sistema fotovoltaico instalado en el edificio CIESOL durante el año 2013 con un total del orden de 13 MWh. La siguiente figura presenta los promedios mensuales de la energía producida por mencionado sistema.

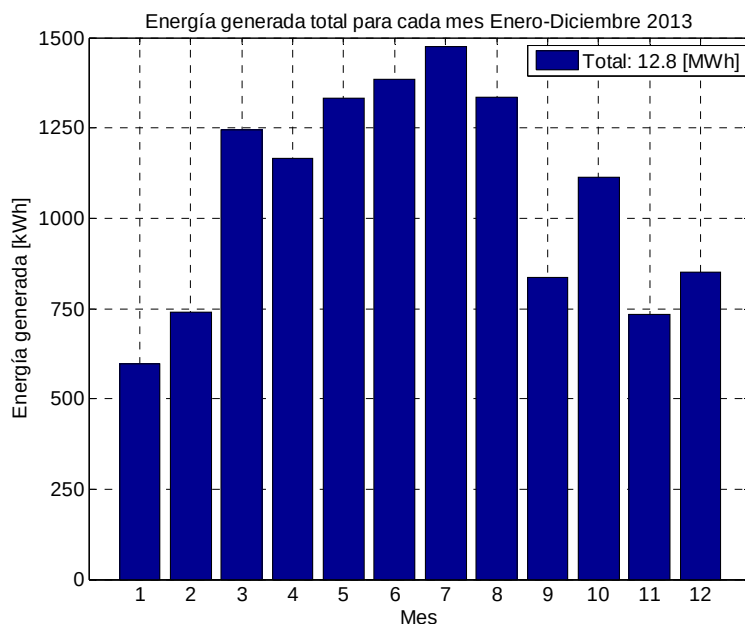


Fig. 3.13. Energía generada durante el año 2013.

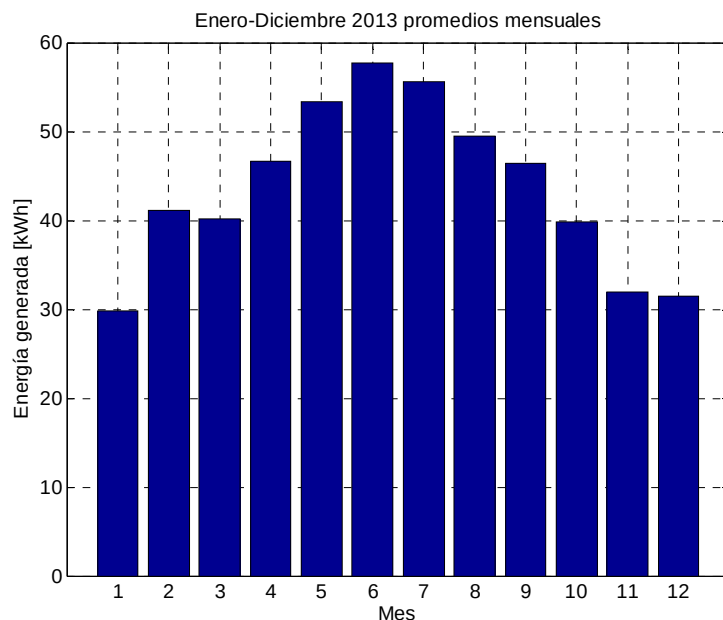


Fig. 3.14. Energía generada durante el año 2013: promedios mensuales.

Sistema de monitorización del edificio CIESOL

El edificio CIESOL cuenta con un amplio sistema de monitorización diseñado para demostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto ARFRISOL. Actualmente el sistema de monitorización del edificio cuenta con 348 canales, correspondientes al conjunto de sensores instalado a lo largo de la vida del proyecto. Se dispone de una herramienta de adquisición, enfocada a almacenar datos por minuto de los sistemas hardware de National Instruments, en archivos diarios. Dicha herramienta cuenta con la posibilidad de configurar los canales mediante la manipulación de un archivo de configuración, lo que permite escalarla según las necesidades de futuras ampliaciones del sistema. Figura 3.15 presenta una de las pantallas de control desarrollada para la monitorización de la temperatura ambiente y el consumo eléctrico de todas las dependencias del edificio CIESOL. Figura 3.16 muestra otra pantalla relacionada con la monitorización de la fachada ventilada del edificio CIESOL.

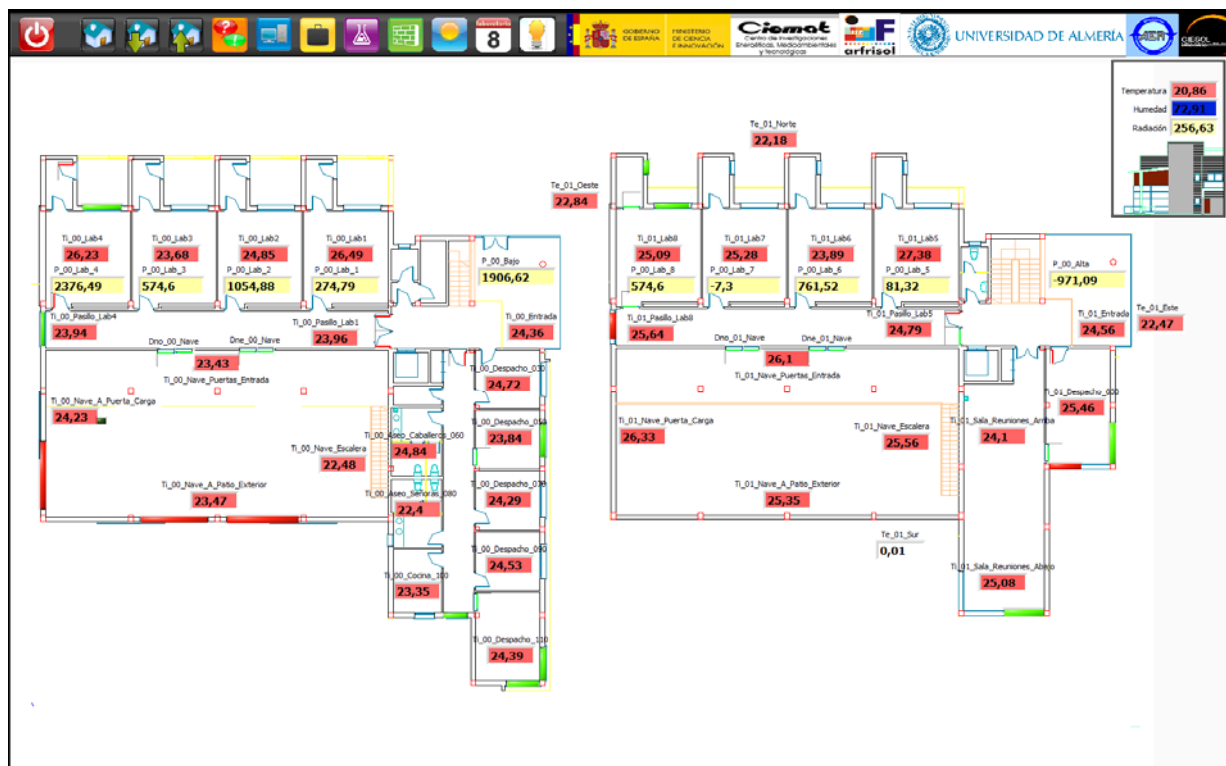


Fig. 3.15. Pantalla de control de temperatura ambiente y el consumo eléctrico de todas las dependencias del edificio CIESOL.



Fig. 3.16. Pantalla de control de temperatura interior y exterior de la fachada ventilada del edificio CIESOL.

A continuación se presentará el consumo eléctrico registrado mediante el sistema de monitorización y adquisición anteriormente descrito. Figura 3.17 muestra el consumo eléctrico diario de todos los laboratorios y despachos del edificio CIESOL medido durante 2013. Como se puede observar el consumo anual diario es del orden de los 26 MWh, mientras que el consumo anual nocturno es del orden de los 9 MWh. Figura 3.18 ilustra el consumo eléctrico de los 8 laboratorios del edificio CIESOL y la suma de los consumos de los 5 despachos de la planta baja y finalmente la suma del consumo eléctrico del salón de actos y del despacho de director.

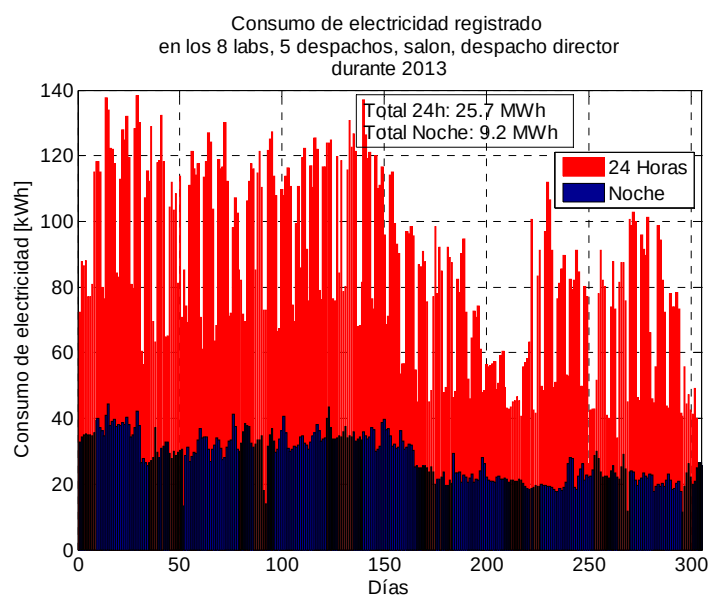


Fig. 3.17. Consumo eléctrico total de todos los laboratorios y despachos del edificio CIESOL medido durante el año 2013.

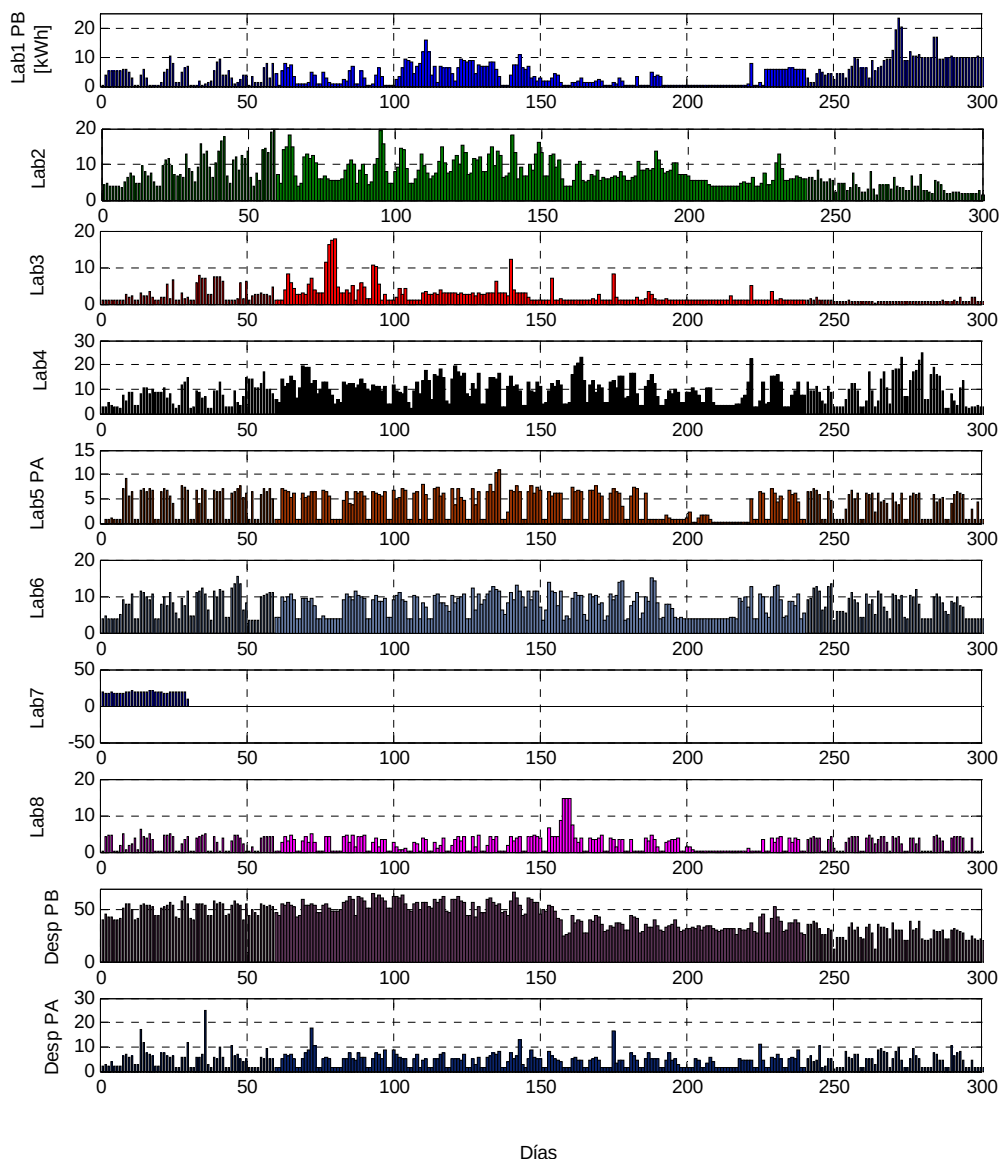


Fig. 3.18. Consumo eléctrico de los laboratorios y despachos del edificio CIESOL medido durante el año 2013.

Figura 3.19 presenta el balance energético del edificio CIESOL registrado durante el año 2013. Como se puede observar la energía generada por el sistema fotovoltaico (12.8 MWh) es suficiente para cubrir la demanda anual de electricidad del sistema de refrigeración y calefacción solar, siendo este del orden de 6.2 MWh.

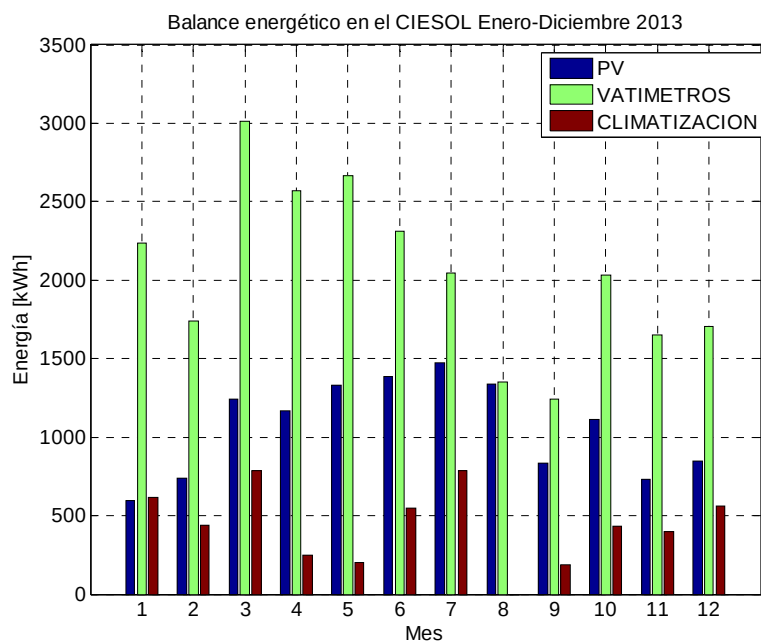


Fig. 3.19. El balance energético del edificio CIESOL medido durante el año 2013.

3.4 CAPACIDADES TÉCNICAS DEL CENTRO

El Centro de Investigaciones de la Energía Solar (CIESOL) dispone diversas capacidades técnicas fruto de su equipamiento y personal investigador. Dichas capacidades se reflejan a continuación:

3.4.1. Capacidades del área de aprovechamiento químico de la energía solar.

Técnicas analíticas:

- Termogravimetría
- Calorimetría Diferencial de Barrido
- Espectrometría
- Análisis Elemental y Molecular de Sólidos y Líquidos
- Análisis de aguas (iónico, UPLC, TOC-TN, DQO, DBO)

Diseño y evaluación de procesos:

- Biodegradabilidad de aguas contaminadas
- Diseño de procesos de descontaminación de aguas
- Estudios de viabilidad de tratamientos de agua (tratamientos terciarios y aguas industriales tóxicas) mediante membranas, biotratamiento y oxidación avanzada (ozono, UV/H₂O₂, Fenton, foto-Fenton)
- Evaluación de contaminación en aguas naturales y residuales.
- Evaluación de comportamientos de contaminantes en medio ambiente (hidrolisis, fotolisis...).
- Análisis de contaminantes orgánicos a niveles traza mediante espectrometría de masas (GC-MS, LS-MS)

3.4.2. Capacidades del área de aprovechamiento energético de la energía solar.

Recursos Solares:

- Evaluación y predicción del recurso solar.
- Generación de mapas solares de alta resolución.

Instalaciones Energéticas:

- Diseño y asistencia técnica en plantas de refrigeración y calefacción solar y agua caliente sanitaria.
- Estudios de viabilidad de aprovechamiento de energía solar en las aplicaciones residenciales e industriales.
- Monitorización y control avanzado de sistemas solares térmicos.
- Monitorización y control avanzado de instalaciones energéticas en edificios.
- Simulación dinámica y optimización de instalaciones energéticas.
- Predicción del rendimiento global y consumo eléctrico de sistemas térmicos.
- Asistencia técnica en elaboración de alertas y mantenimiento preventivo de sistemas térmicos.
- Consultoría de eficiencia energética.

Laboratorios:

- Ensayos climáticos de captadores solares térmicos y fotovoltaicos.
- Laboratorio de ensayo de componentes de sistemas de refrigeración y calefacción solar.

4. ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA.

Participación Plataformas Tecnológicas y grupos especializados:

- RHC-Platform. European Technology Platform on Renewable Heating & Cooling.
- Plataforma Tecnológica de la Energía Solar Térmica de Concentración. SOLARCOCENTRA.
- WG5: Wastewater reuse de la red NORMAN - Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances
- IEA Task 49/IV International Energy Agency. Solar heating and Cooling Programme.Task for Solar Heat Integration in Industrial Processes.

Participación en foros de transferencia:

- Foro Innovación-Empresa. Universidad de Almería.
- Día Solar Europeo.
- Semana de la Ciencia Europea.
- Noche de los investigadores. Fundación desQbre.

Visitas y contactos institucionales y de empresas:

- Universidad Wroclaw (Polonia)
- Universidad de Antofagasta (Chile)
- Universidad de Michigan (USA)
- Universidad de Witelton (Polonia)
- Universidad de Guanajuato (México)
- Universidad de Santa Cecilia (Brasil)
- Universidad de Brescia (Italia)
- Universidad de Santa Catarina (Brasil)
- Universidad de California Santa Cruz (USA)
- Agencia Andaluza de la Energía
- TORRESOL
- SADYT
- MAPFRE INMUEBLES
- Grupo CIAT
- Cardial Recursos Alternativos
- ACE Servicios Energéticos
- MEGAL
- OHL
- Fundación HABITEC
- Fundación CTAER
- ABENGOA SOLAR
- SOPOGY

Colaboración en actividades formativas externas:

- Master en Energía Solar de la Universidad de Salamanca.
- Curso de Formación Mantenimiento Higiénico-Sanitario de Instalaciones de Riesgo para la Transmisión de la Legionelosis. IADEE Formación.

5. COMITÉS Y RESPONSABLES DE ACTIVIDADES.

5.1 DIRECCIÓN DEL CENTRO

Director	Sixto Malato Rodríguez Investigador de O.P.I. CIEMAT sixto.malato@psa.es
Subdirector	Manuel Pérez García Profesor Titular de la Universidad de Almería mperez@ual.es

5.2 RESPONSABLES DE ACTIVIDADES

Actividad	Universidad de Almería (UAL)	Plataforma Solar de Almería (PSA)
Organometálica y Fotoquímica	Antonio Romerosa Nieves Catedrático de la UAL romerosa@ual.es	Christoph Richter Investigador de DLR en la PSA christoph.richter@dlr.de
Análisis Ambiental	Ana Agüera López Catedrático de la UAL aaguera@ual.es	Isabel Oller Alberola Investigador de O.P.I. CIEMAT isabel.oller@psa.es
Regeneración de Aguas	José A. Sánchez Pérez Catedrático de la UAL jsanchez@ual.es	Manuel I. Maldonado Investigador de O.P.I. CIEMAT mignacio.maldonado@psa.es
Modelado y Control Automático	Manuel Berenguel Catedrático la UAL beren@ual.es	Luis Yebra Muñoz Investigador de O.P.I. CIEMAT luis.yebra@psa.es
Evaluación del Recurso Solar	Javier Batlles Garrido Profesor Titular de la UAL fbatlles@ual.es	
Frio Solar	Javier Batlles Garrido Profesor Titular de la UAL fbatlles@ual.es	

5.3 COMITÉ DE COORDINACIÓN

Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Almería

vinvest@ual.es

Manuel Berenguel (Catedrático de la Universidad de Almería)

beren@ual.es

Sixto Malato (Director de la Plataforma Solar de Almería, CIEMAT)

sixto.malato@psa.es

Luis Yebra (Investigador del CIEMAT)

Luis.yebra@psa.es

5.4 COMITÉ CIENTÍFICO

Sebastián Dormido

sdormido@dia.uned.es

Catedrático de Informática y Automática de la UNED

María Luisa Castaño

mluisa.castano@micinn.es

Directora General de Innovación y Competitividad.

MINECO-Gobierno de España.

Rafael van Grieten

rafael.vangrieken@urjc.es

Catedrático de Ingeniería Química y Director de ANECA

(Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación)

David Serrano

david.serrano@imdea.org

Catedrático de Ingeniería Química y Director de IMDEA-Energía